

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE QUITO

FACULTAD DE INGENIERÍAS

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

Tesis previa a la obtención del título de

INGENIERO MECÁNICO

Tema

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE RIEGO ESTACIONARIO POR
ASPERSIÓN PARA UNA SUPERFICIE DE 10 440 M² PARA EL
ESTADIO RAFAEL CABRERA DE SAN MIGUEL DE URCUQUÍ**

AUTOR

JOAO SEBASTIAN SALAS QUELAL

TUTOR

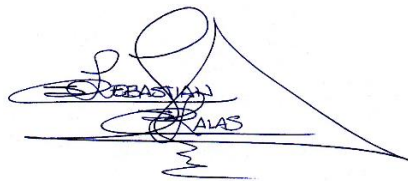
MARCOS ANTONIO HECHAVARRÍA SÁNCHEZ

Quito, noviembre del 2017

Cesión de derechos de autor

Yo, Joao Sebastian Salas Quelal, con documento de identificación N° 1003852009, manifiesto mi voluntad y cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del trabajo de grado: DISEÑO DE UN SISTEMA DE RIEGO ESTACIONARIO POR ASPERSIÓN PARA UNA SUPERFICIE DE 10 440 M² PARA EL ESTADIO RAFAEL CABRERA DE SAN MIGUEL URCUQUÍ, el mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de Ingeniero Mecánico, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'JOAO SEBASTIAN SALAS', with a large, stylized flourish extending to the right.

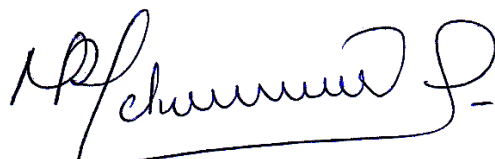
Joao Sebastian Salas Quelal
C.I. 1003852009

Quito, noviembre del 2017.

Declaratoria de coautoría del docente tutor

Yo, declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el Trabajo de Titulación: DISEÑO DE UN SISTEMA DE RIEGO ESTACIONARIO POR ASPERSIÓN PARA UNA SUPERFICIE DE 10 440 M² PARA EL ESTADIO RAFAEL CABRERA DE SAN MIGUEL DE URCUQUÍ, realizado por Joao Sebastian Salas Quelal, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana para ser considerados como Trabajo Final de Titulación.

Quito, noviembre del 2017.



Marcos Antonio Hechavarría Sánchez
C.I. 1756684369

Dedicatoria

La concepción de este proyecto de titulación está dedicada a mis padres, quienes son la estructura fundamental de mi vida. De ellos soy, y a ellos me debo. Su constancia y lucha insaciable han hecho de ellos el gran ejemplo a seguir y destacar, no solo para mí, sino para mis hermanos, familia y la sociedad. Este proyecto es el resultado del esfuerzo conjunto de todas las personas que están junto a mí, que caminaron conmigo y que siempre me acompañarán a través de los valores que reflejan su calidad de seres humanos.

Dedico este proyecto a mi padre Homero Salas y a mi madre Magdalena Quelal.

Joao Sebastian.

CONTENIDO

Cesión de derechos de autor.....	ii
Declaratoria de coautoría del docente tutor	iii
Dedicatoria	iv
CONTENIDO	v
ÍNDICE DE TABLAS	xii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiv
SIMBOLOGÍA.....	xvi
RESUMEN.....	xix
ABSTRACT.....	xx
INTRODUCCIÓN	21
OBJETIVOS	22
CAPÍTULO I.....	23
MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL	23
1.1 El riego o irrigación.....	23
1.1.1 Importancia del riego o irrigación.....	23
1.2 Uso del suelo en Ecuador	24
1.2.1 Clasificación taxonómica de los suelos en el Ecuador.....	24
1.3 Cantón San Miguel de Urcuquí	24
1.3.1 División política del cantón Urcuquí	25
1.3.2 Clasificación taxonómica del suelo del cantón Urcuquí.....	25
1.4 Métodos de riego	26
1.4.1 Riego por gravedad	27
1.4.2 Riego por aspersión.....	28
1.4.3 Riego localizado.....	28
1.5 Sistema de riego	29

1.5.1	Sistema de distribución del agua en canteros y surcos	29
1.5.2	Sistema de riego por aspersión.....	29
1.5.3	Sistemas de riego localizado	30
1.6	Elementos de un sistema de riego	31
1.6.1	Fuente de agua.....	31
1.6.2	Grupo de bombeo	31
1.6.3	Tuberías o red de tuberías	31
1.6.4	Los ramales	32
1.6.5	Emisores.....	32
1.6.6	Elementos y accesorios de sistemas de riego.....	36
1.7	Influencia de los factores climáticos	36
1.7.1	Evaporación.....	37
1.7.2	Transpiración.....	37
1.7.3	Evapotranspiración (ET)	37
1.8	Riego en campos de fútbol	37
1.8.1	Instalación con aspersores de pistón de diámetro pequeño.....	38
1.8.2	Instalación con aspersores de pistón de gran diámetro	39
1.8.3	Instalación de cañones.....	39
1.8.4	Distribución triangular de aspersores.....	39
1.9	Césped para estadios de fútbol	40
1.9.1	Especies de césped	41
1.9.2	Césped para uso deportivo	41
CAPÍTULO II		44
METODOLOGÍA DE SELECCIÓN Y CONFIGURACIÓN DEL SISTEMA DE RIEGO		44
2.1	Antecedentes	44

2.1.1	Estadio Rafael Cabrera.....	44
2.2	Diagnóstico del sistema de riego actual del Estadio Rafael Cabrera	45
2.2.1	Sistema hidráulico	45
2.2.2	Recursos hídricos	47
2.2.3	Césped.....	49
2.3	Metodología de selección y diseño del sistema de riego.....	49
2.4	Método de riego.....	49
2.5	Fuente de agua.....	50
2.6	Balance hídrico y necesidades de agua por suelo y cultivo.....	50
2.7	Configuración del sistema	50
2.7.1	Planteamiento de la alternativa de diseño	50
2.7.2	Dimensionamiento del sistema	51
2.7.3	Selección de aspersores.....	51
2.8	Diseño hidráulico	52
2.8.1	Área de una sección circular	52
2.8.2	Flujo volumétrico	52
2.8.3	Peso específico	53
2.8.4	Viscosidad dinámica	53
2.8.5	Viscosidad cinemática.....	53
2.8.6	Número de Reynolds.....	53
2.8.7	Flujo laminar y flujo turbulento	54
2.8.8	Energía de flujo	54
2.8.9	Energía cinética.....	54
2.8.10	Energía potencial.....	55
2.8.11	Energía que se agrega al fluido del sistema	55
2.8.12	Energía que se remueve del fluido del sistema	55

2.8.13	Pérdidas de energía del sistema.....	55
2.8.14	Ecuación de Darcy	56
2.8.15	Pérdida por fricción en flujo laminar	57
2.8.16	Pérdida por fricción en flujo turbulento	57
2.8.17	Coeficientes de resistencia para válvulas y acoples	58
2.8.18	Ecuación general de la energía.....	59
2.8.19	Potencia que requieren las bombas	60
2.8.20	Tipos de bombas	60
2.8.21	Bomba centrífuga	60
2.8.22	Datos del rendimiento de bombas centrífugas	61
2.8.23	Punto de operación de una bomba	61
2.8.24	Presión de vapor	62
2.8.25	Carga de presión de vapor.....	62
2.8.26	Presión estática absoluta	62
2.8.27	Carga de presión estática absoluta	62
2.8.28	Diferencia de elevación.....	63
2.8.29	Pérdida de carga en la tubería de succión	63
2.8.30	Carga de succión neta positiva (NPSH)	63
2.8.31	Cavitación	64
2.8.32	Prevención de la cavitación.....	64
2.9	Diseño hídrico	64
2.9.1	Tasa de aplicación	64
2.9.2	Efecto del viento	65
2.9.3	Tiempo de riego por posición	65
CAPÍTULO III.....		67
DISEÑO Y CÁLCULO DEL SISTEMA.....		67

3.1	Designación de los ramales del sistema	67
3.2	Selección de materiales	68
3.3	Planteamiento de la ecuación general de la energía	69
3.4	Desarrollo de la ecuación general de la energía	71
3.4.1	Pérdidas de energía en la succión.....	74
3.4.2	Pérdidas de energía en la descarga.....	76
3.4.3	Pérdida total de energía en el sistema	80
3.4.4	Consideraciones de diseño en sistemas de riego estacionarios	81
3.4.5	Aporte de energía al sistema	82
3.4.6	Potencia de requerimiento por la bomba.....	82
3.4.7	Punto de diseño	82
3.4.8	Curva del sistema	83
3.5	Selección del equipo de bombeo	83
3.5.1	Análisis de alternativas	85
3.6	Carga de succión neta positiva disponible.....	87
3.6.1	Carga de presión de vapor.....	87
3.6.2	Carga de presión estática absoluta	87
3.6.3	Diferencia de elevación.....	87
3.6.4	Pérdida de carga en la tubería de succión	87
3.6.5	Carga de succión neta positiva requerida.....	88
3.7	Diseño hídrico	88
3.7.1	Necesidades de agua por suelo y cultivo.....	89
3.7.2	Diseño hídrico en el segmento A1	90
3.7.3	Diseño hídrico en el segmento A2	90
3.8	Manual de operación y mantenimiento	91
CAPITULO IV.....		92

ANÁLISIS TÉCNICO - ECONÓMICO DEL PROYECTO.....	92
4.1 Estimación de costos	92
4.2 Conceptualización y clasificación de los costos del proyecto.....	92
4.2.1 Costo	92
4.2.2 Costos directos	93
4.2.3 Costos indirectos	95
4.2.4 Costo total del sistema	97
4.3 Análisis de diseño.....	97
4.3.1 Análisis de tiempo de operación	98
4.3.2 Análisis de consumo de caudal	99
4.3.3 Análisis de eficiencia del emisor.....	99
4.3.4 Análisis de producción de escorrentía superficial.....	100
4.3.5 Análisis de programación del riego	102
4.3.6 Análisis de costos por operación.....	103
CONCLUSIONES	107
RECOMENDACIONES	108
Bibliografía	109
Anexo 1: Taxonomía del suelo en Ecuador [5].....	116
Anexo 2: Taxonomía del suelo en el cantón Urcuquí [5]	117
Anexo 3: Croquis – dirección del Estadio Rafael Cabrera [28].....	118
Anexo 4: Rugosidad de diseño de tubos	118
Anexo 5: Diagrama de Moody [44]	119
Anexo 6: Esquema espacial del sistema de riego estacionario por aspersión.....	120
Anexo 7: Ficha técnica - Electrobomba Barnes de alta presión KE 3 150 y tanque hidroneumático EVANS 480 Lts [36].....	121
Anexo 8: Ficha técnica - Aspersores Hunter I-90 e I-40 [45] [46] [47] [48].....	127

Anexo 9: Manual de operación y mantenimiento	133
Anexo 10: Recomendaciones para el cuidado y mantenimiento del Kikuyo.....	145
Anexo 11: Información de proveedores	148
PLANOS	149

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Distribución del uso de la tierra [4].....	24
Tabla 2. División política del Cantón Urcuquí [6].....	25
Tabla 3. Especies de césped [24]	41
Tabla 4. Datos de placa del motor de la bomba	45
Tabla 5. Datos de placa de la moto bomba	47
Tabla 6. Parámetros físicos de muestras de los vertederos que alimentan el agua de regadío de San Eloy [27].....	48
Tabla 7. Parámetros químicos de muestras de los vertederos que comprenden el agua de regadío de San Eloy [27]	48
Tabla 8. Especificaciones de los aspersores [29]	52
Tabla 9. Elementos y accesorios del sistema	69
Tabla 10. Datos del sistema y propiedades del fluido [6] [26] [27].....	72
Tabla 11. Área hidráulica y velocidad de flujo en las tuberías	73
Tabla 12. Coeficiente de resistencia en válvulas y accesorios [30] [34] [35]	73
Tabla 13. Factor de fricción en la zona de turbulencia completa [30]	74
Tabla 14. Numero de Reynolds.....	74
Tabla 15. Pérdidas menores de energía en la succión	75
Tabla 16. Perdidas mayores de energía en la succión	75
Tabla 17. Pérdidas menores de energía en la descarga (tubería de $\varnothing i = 3$ plg) ...	76
Tabla 18. Pérdidas mayores de energía en la descarga (tubería de $\varnothing i = 3$ plg) ...	76
Tabla 19. Pérdidas menores de energía en la descarga (tubería de $\varnothing i = 2$ plg) ...	77
Tabla 20. Pérdidas mayores de energía en la descarga (tubería de $\varnothing i = 2$ plg) ...	77
Tabla 21. Pérdidas menores de energía en la descarga (tubería de $\varnothing i = 1 \frac{1}{2}$ plg) ...	78
Tabla 22. Pérdidas mayores de energía en la descarga (tubería de $\varnothing i = 1 \frac{1}{2}$ plg) ...	78
Tabla 23. Pérdidas menores de energía en la descarga (tubería de $\varnothing i = 1 \frac{1}{2}$ plg, Q_2)	79
Tabla 24. Pérdidas mayores de energía en la descarga (tubería de $\varnothing i = 1 \frac{1}{2}$ plg, Q_2)	79
Tabla 25. Pérdidas menores de energía en la descarga (tubería de $\varnothing i = 1$ plg, Q_2)	80

Tabla 26. Pérdidas mayores de energía en la descarga (tubería de $\varnothing i = 1$ plg, $Q2$)	80
Tabla 27. Análisis técnico – económico de alternativas	86
Tabla 28. Costo de materiales	93
Tabla 29. Costo de insumos	94
Tabla 30. Costo de mano de obra.....	95
Tabla 31. Total de costos directos	95
Tabla 32. Materiales indirectos	96
Tabla 33. Eventos imprevistos	96
Tabla 34. Costo de ingeniería.....	96
Tabla 35. Total costos directos.....	97
Tabla 36. Costo total del sistema	97
Tabla 37. Costo teórico de consumo eléctrico	104
Tabla 38. Costo de mano de obra.	105
Tabla 39. Evaluación de costos por operación.....	105

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa político del cantón San Miguel de Urcuquí [6]	25
Figura 2. Riego por surcos [11]	27
Figura 3. Emisores de sistemas de riego por aspersión [13]	28
Figura 4. Riego localizado en hidroponía [15]	29
Figura 5. Emisor de gotero [17]	33
Figura 6. Aspersor rotativo de turbina [8].....	33
Figura 7. Difusor para lateral fijo [8].....	34
Figura 8. Manguera perforada [18]	34
Figura 9. Cañón de riego JET 40 con un radio de alcance entre 20 y 43 m [19].	35
Figura 10. Micro aspersor Jet JFR [20].....	35
Figura 11. Riego localizado por exudación PORITEX [21]	36
Figura 12. Configuración clásica de aspersores con pistón de diámetro pequeño [22]	38
Figura 13. Distribución de aspersores con pistón de diámetro pequeño y sectorizados [22]	38
Figura 14. Distribución de 3 aspersores dentro del campo de juego y 10 en la periferia [22].....	39
Figura 15. Distribución de 6 cañones en la periferia del campo de juego [22] ...	39
Figura 16. Distribución triangular con 16 aspersores en el exterior y 17 dentro del campo [22]	40
Figura 17. Distribución triangular con 14 aspersores en el exterior y 3 cañones dentro del campo [22]	40
Figura 18. Cañón empleado en el sistema de riego del estadio Rafael Cabrera ..	45
Figura 19. Grupo de bombeo del estadio Rafael Cabrera	46
Figura 20. Cisterna de almacenamiento	46
Figura 21. Terminal de descarga del sistema	47
Figura 22. Kikuyo del estadio Rafael Cabrera	49
Figura 23. Configuración determinada previo al diseño.....	51
Figura 24. Sistema de flujo de fluido que ilustra la ecuación general de la energía [30]	59
Figura 25. Clasificación de los tipos de bombas [30]	60

Figura 26. Partes de una bomba centrífuga ANSI MTX [32].....	61
Figura 27. Curva de rendimiento - Electrobomba Centrífuga Barnes serie: IB1½ [33]	61
Figura 28. Disposiciones de los aspersores en sistemas estacionarios [8].....	65
Figura 29. Designación de ramales	67
Figura 30. Diagrama del sistema – succión	70
Figura 31. Detalle del punto 1 en el diagrama del sistema	70
Figura 32. Diagrama del sistema – descarga.....	71
Figura 33. Detalle del punto 2 – descarga.....	72
Figura 34. Curva del sistema	83
Figura 35. Curva de rendimiento: Bomba Barnes KE 3 150 [36].....	84
Figura 36. Curvas de rendimiento: Bombas Barnes KE 3 200 y KE 3 250 [37] .	85
Figura 37. Área seccionada del campo de juego.....	89
Figura 38. Análisis de tiempo de operación.....	98
Figura 39. Análisis de consumo de caudal.....	99
Figura 40. Análisis de eficiencia del emisor	100
Figura 41. Inspección de escorrentía superficial del sistema actual	101
Figura 42. Análisis de producción de escorrentía	102
Figura 43. Horario recomendado de irrigación	103

SIMBOLOGÍA

A : Área de una sección circular

π : Constante Pi

\emptyset_i : Diámetro interior de la tubería circular

Q : Flujo volumétrico o caudal

v : Velocidad promedio del fluido

γ : Peso específico

w : Peso de una sustancia

\mathcal{V} : Volumen de una sustancia

ν : Viscosidad cinemática

η : Viscosidad dinámica

ρ : Densidad

N_R : Número de Reynolds

E_F : Energía de flujo o presión

P : Presión

E_K : Energía cinética

g : Gravedad

E_P : Energía potencial

z : Diferencia de altura respecto al nivel de referencia

h_A : Energía que se agrega al fluido con un dispositivo mecánico

h_L : Pérdidas de energía del sistema por la fricción en las tuberías, o pérdidas menores por válvulas, codos, filtros y otros accesorios

h_R : Energía que se remueve del fluido por medio de un dispositivo mecánico

h_{Lm} : Pérdidas menores debido a los accesorios del sistema

h_{LM} : Pérdida de energía debido a la fricción y a la relación de la longitud de la tubería al diámetro de la corriente

f : Factor de fricción

L : Longitud de la corriente del flujo (longitud de la tubería)

ϵ : Rugosidad promedio de la pared

K : Coeficiente de resistencia para válvulas y accesorios

f_T : Factor de fricción

L_e : Longitud equivalente; es la longitud de una tubería recta del mismo diámetro nominal que el de la válvula, y tiene la misma resistencia que ésta

Pot : Potencia que requiere la bomba

h_{vp} : Carga de presión de vapor

P_{vp} : Presión de vapor

P_{sp} : Presión estática absoluta

P_{atm} : Presión atmosférica

P_{man} : Presión manométrica

h_{sp} : Carga de presión estática absoluta

h_s : Diferencia de elevación desde el nivel de referencia del fluido en el depósito del sistema, a la línea central de la entrada de succión de la bomba

h_f : Pérdida de carga en la tubería de succión debido a la fricción y pérdidas menores

$NPSH_d$: Carga de succión neta positiva disponible

$NPSH_r$: Carga de succión neta positiva requerida

I_a : Pluviometría horaria

Q_a : Caudal o gasto del aspersor

a_a : Área de riego de cada aspersor

L_1 : Espaciamiento entre aspersores en el lateral

L_2 : Espaciamiento entre laterales

t_i : Tiempo por posición

D_s : Dosis de riego

RESUMEN

Este proyecto consiste en diseñar un sistema de riego estacionario por aspersión para una superficie de $10\,440\text{ m}^2$ para el Estadio Rafael Cabrera de San Miguel de Urcuquí.

Por medio de un diagnóstico de campo se presenta el estado actual del sistema de riego que dispone el estadio, y del cual se utilizarán sus recursos hídricos. En función de la geometría del campo de juego se determinó la configuración del sistema; haciendo uso del levantamiento planimétrico del estadio se dimensionó la tubería principal, 5 líneas secundarias o ramales, y se han seleccionado los aspersores.

La aplicación hídrica consiste en regar un solo ramal a la vez, esto requiere 887.6 l/min y 6 bares. Planteando la ecuación general de la energía se obtuvo por el medio analítico de Darcy - Weisbach la curva del sistema, de esta forma se seleccionó el grupo de bombeo constituido por una electrobomba centrífuga y un tanque hidroneumático que cumplen con el requerimiento hidráulico del sistema.

La aptitud del diseño del sistema de riego estacionario por aspersión está expuesta cuantitativamente mediante un análisis que compara ambos sistemas, el actual, y el diseño desarrollado en este proyecto. Los resultados obtenidos indican optimización en el tiempo de operación, mayor aprovechamiento hídrico, reducción de pérdidas por escorrentía superficial, mayor eficiencia de diseño, y ahorro de recursos económicos por operación.

Palabras clave: riego, Darcy - Weisbach, electrobomba, hidroneumático, aspersores, hídrico, escorrentía.

ABSTRACT

The development of this project is to design a sprinkler irrigation system for an area of 10 440 square meters for the “Rafael Cabrera” Stadium located in San Miguel de Urcuquí.

First at all, by means of a field diagnosis the current state of the irrigation system of the stadium is described in detail since its water resources will be used for the development and implementation of this project. The configuration of the system was determined taking into consideration the geometry of the playing field; the dimensioned the main pipe, 5 secondary lines or branches, and the sprinklers have been selected based on the information provided by planimetric assessment of the stadium.

The water application consists of watering a single branch at a time; this requires 887.6 l / min and 6 bars. By applying the general energy equation, the system curve was obtained by Darcy - Weisbach's analytical tool. In this way, the pumping group was selected, consisting of a centrifugal electric pump and a hydropneumatic tank that meet the hydraulic requirements of the system.

The design capability of the sprinkler irrigation system is quantitatively exposed by an analysis comparing both the current system and the new design developed in this project. The results obtained indicate optimization in the time of operation, greater water use, reduction of losses due to surface runoff, greater efficiency of design, and saving of economic resources by operation.

Keywords: irrigation, Darcy - Weisbach, electric pump, hydropneumatic, sprinklers, water, runoff.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, el Estadio Rafael Cabrera del Cantón San Miguel de Urcuquí cuenta con un sistema de riego móvil por aspersión que posee un solo emisor tipo cañón. Este sistema no tiene la capacidad de ofrecer un riego uniforme y brindar cobertura total en el campo de juego, además, el mecanismo de funcionamiento del cañón hace que este incida de forma abrupta en la superficie, provocando agresión al césped e incremento de salinidad en el suelo al saturarlo de agua.

A través de este proyecto de titulación se tiene como objetivo diseñar un sistema de riego estacionario por aspersión para una superficie de 10 440 m² para el Estadio Rafael Cabrera del Cantón San Miguel de Urcuquí, que ofrecerá cobertura en todo el campo de juego, aplicación uniforme del riego, optimización de los recursos hídricos, mano de obra, entre otros beneficios intrínsecos de este diseño.

En un principio se diagnosticará la situación del sistema de riego actual y sus recursos, se establecerá la alternativa de solución basado en un método de aspersión estacionario que resuelva las condiciones de funcionalidad, optimice el tiempo de operación y proporcione el riego adecuado al campo de juego. Una vez establecida la alternativa de solución se determinará la configuración que adoptará este sistema, posteriormente se realizará el cálculo y diseño hidráulico e hídrico del mismo, por consiguiente se presenta el plan de operación y mantenimiento del sistema, el cual expone todas las consideraciones técnicas para el correcto uso y aplicación de este.

Finalmente, por medio de un análisis técnico - económico se expondrá consideraciones comparativas y los parámetros cuantitativos más relevantes que argumenten la viabilidad y rentabilidad del proyecto desarrollado pertinente a la implementación del sistema de riego estacionario por aspersión para Estadio Rafael Cabrera de San Miguel de Urcuquí.

OBJETIVOS

a) Objetivo general:

Diseñar un sistema de riego estacionario por aspersión para una superficie de 10 440 m² para el Estadio Rafael Cabrera de San Miguel de Urcuquí.

b) Objetivos específicos:

- Diagnosticar la situación actual del sistema de riego del Estadio Rafael Cabrera de San Miguel de Urcuquí y los recursos hídricos.
- Determinar y configurar la alternativa de mejora basada en un sistema de riego estacionario por aspersión.
- Diseñar y calcular el sistema de riego estacionario por aspersión de acuerdo a la configuración seleccionada.
- Realizar un plan de operación y mantenimiento del sistema de riego.
- Realizar un estudio técnico - económico y de consumo para la implementación del sistema de riego por aspersión.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL

En Ecuador existen diferentes zonas geográficas con escasez de agua útil para el uso del sector agrícola, en general, estas zonas presentan su mayor punto crítico de sequía en la estación climática de verano. A partir de esta necesidad, y, con el objetivo de optimizar el uso del recurso natural agua, se han desarrollado métodos y sistemas de riego que aprovechan el agua disponible de un sector en particular de forma eficiente por medio de la tecnificación de los procesos.

A continuación se define y presenta la importancia del riego, el uso del suelo en el Ecuador, la clasificación taxonómica del suelo en el Cantón Urcuquí, los métodos y sistemas de riego en general, los principales elementos que componen un sistema de riego, la necesidad de un sistema de riego ante la influencia del clima en el suelo y cultivos, el riego en campos de fútbol que es el tema propuesto en este proyecto, y los diferentes tipos de césped utilizados en estadios de esta disciplina deportiva.

1.1 El riego o irrigación

Según Gurovich Luis [1], dice que el riego es una de las prácticas agrícolas más antiguas utilizadas por el hombre para producir diferentes especies de cultivos. De esta forma Ángeles Vicente [2], define al riego o irrigación como una práctica agrícola de abastecimiento de agua a los cultivos, donde y cuando el abastecimiento natural, no es suficiente para cubrir las necesidades hídricas de las plantas.

Por lo tanto, el objetivo de esta práctica, es dotar la cantidad de agua requerida por los cultivos en sus diferentes etapas de crecimiento, de tal forma que no se produzcan declives en la producción.

1.1.1 Importancia del riego o irrigación

Explica Ángeles Vicente [2], la importancia de la irrigación es imprescindible para la producción en sectores o zonas semiáridas y áridas, ya que produce efectos ambientales que favorecen el crecimiento apropiado de los cultivos, pues genera un microclima que disminuye la temperatura en las épocas cálidas y la aumenta en las frías, además, reduce los riesgos de golpe de calor y de heladas.

1.2 Uso del suelo en Ecuador

Según la encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua [3], el uso del suelo hace referencia a la categoría de utilización de las tierras en Ecuador. La distribución del suelo en el país está dada de la siguiente forma:

Tabla 1. Distribución del uso de la tierra [4]

USO DE LA TIERRA	SUPERFICIE	PORCENTAJE
Cultivos permanentes	1 363 400 ha	11.03 %
Cultivos transitorios y barbecho	1 231 675 ha	9.96 %
Descanso	381 167 ha	3.68 %
Pastos cultivados	3 357 167 ha	26.36 %
Pastos naturales	1 129 701 ha	9.13 %
Páramos	600 264 ha	4.68 %
Montes y bosques	3 881 140 ha	31.41 %
Otros usos	411 180 ha	3.32 %

1.2.1 Clasificación taxonómica de los suelos en el Ecuador

En el Anexo 1 mediante un mapa geo referencial se muestra la taxonomía del suelo en toda la superficie del territorio ecuatoriano [5].

1.3 Cantón San Miguel de Urcuquí

El Cantón San Miguel de Urcuquí se encuentra al noroccidente de la Provincia de Imbabura, Ecuador. Tiene como coordenadas geográficas de latitud norte 0° 25' 13" y longitud oeste 78° 11' 50", Urcuquí limita al este y al norte con el Cantón Ibarra, al sur y suroeste con los Cantones Antonio Ante y Cotacachi y al oeste con la Provincia de Esmeraldas [6].

Su temperatura promedio oscila entre 14 °C a 19 °C, y de acuerdo a su altura geográfica se encuentra entre 1 600 msnm y 3 180 msnm [6].

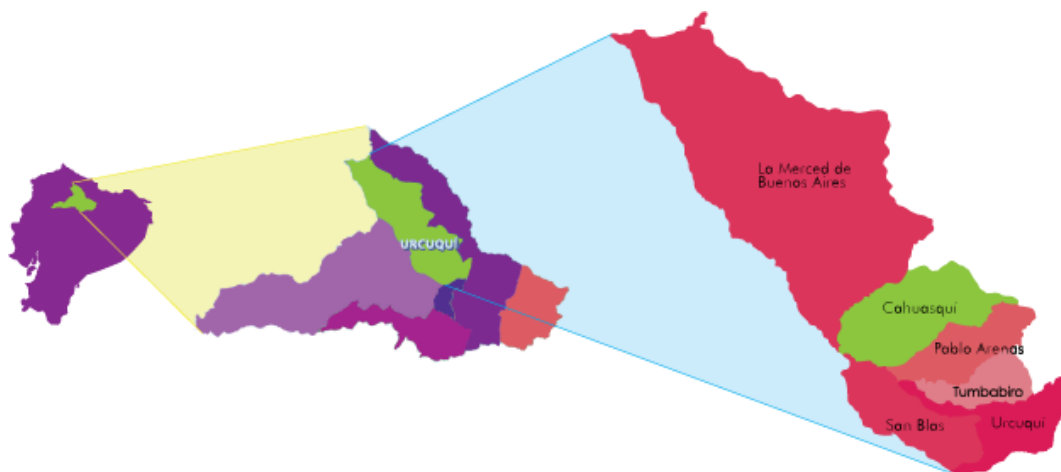


Figura 1. Mapa político del cantón San Miguel de Urcuquí [6]

1.3.1 División política del cantón Urcuquí

El Cantón Urcuquí tiene una extensión de 766.97 km² y su división política lo constituye de 6 parroquias como se presenta en la Tabla 2:

Tabla 2. División política del Cantón Urcuquí [6]

PARROQUIA	EXTENSIÓN	ALTURA	TEMPERATURA
Urcuquí	56.62 km ²	1 600 - 3 180 msnm	19 °C
San Blas	75.28 km ²	2 226 - 2 718 msnm	16.64 °C
Tumbabiro	38.02 km ²	1 800 - 3 500 msnm	20 °C
Pablo Arenas	57.77 km ²	1 800 - 4 000 msnm	17 °C
Cahuasquí	105.54 km ²	1 600 - 4 400 msnm	16.9 °C
Bueno Aires	433.74 km ²	1 400 - 3 999 msnm	16 °C

1.3.2 Clasificación taxonómica del suelo del cantón Urcuquí

La taxonomía del suelo en la superficie del Cantón Urcuquí se muestra mediante un mapa geo referencial en el Anexo 2 [5].

A continuación se expone los tipos de suelo en específico de la Parroquia Urcuquí, sector de interés al cual está dirigido proyecto. En el Anexo 2 se puede apreciar que la clasificación taxonómica del suelo en la parroquia Urcuquí se conforma por [5]:

a) Mollisol

Básicamente, los Mollisoles son suelos negros o pardos que se han desarrollado a partir de sedimentos minerales, poseen dominancia del catión calcio y se han constituido en climas templados húmedos [4]. También se pueden encontrar en regímenes fríos con una cobertura vegetal integrada fundamentalmente por pastos cultivados. Presentan una estructura granular o migajosa moderada y fuerte que facilita el movimiento del agua y aire. En su mayoría son utilizados para la producción de alimentos [7].

En el Anexo 2 se observa a Mollisol como el tipo de suelo con mayor extensión en la Parroquia de Urcuquí [5].

b) Inceptisol

Los Inceptisoles son suelos derivados de cenizas volcánicas, también formados a partir de diversos materiales de origen y en una amplia gama de pisos climáticos. Son suelos minerales con un incipiente desarrollo de horizontes pedogenéticos que se han desarrollado en el clima ecuatorial de alta montaña, estos suelos presentan una profundidad mayor a 1 m, con presencia de materia orgánica, alta capacidad de intercambio catiónico y saturación de bases alta [7].

Su mayor utilización es de carácter agropecuario, posee extensiones paisajísticas y diferentes tipos de vegetación. Dependiendo del grado de fertilidad son aprovechados con actividades agrícolas y pecuarias [4].

c) Entisol

Los Entisoles son suelos con dominio de material mineral primario no consolidado y aportes fluviales que presentan escasa evidencia de desarrollo de horizontes pedogenéticos. Son suelos superficiales producto de erosiones, aportes aluviales y coluviales o por acción antrópica [4]. Son hábiles para la práctica de actividades agrícolas [4].

1.4 Métodos de riego

Según Santos Pereira Luis [8], se entiende por método de riego al conjunto de aspectos que caracterizan el modo de aplicar el agua a un determinado terreno.

Los métodos de riego se clasifican en 3, explica Castañón Guillermo [9]:

- Riego por gravedad
- Riego por aspersión
- Riego localizado

Algunos autores en ciertos casos incluyen el método de riego subterráneo, que, en la práctica, consiste en las mismas características que los métodos señalados, con la única diferencia: el punto de aplicación del agua (bajo la tierra o enterrado).

1.4.1 Riego por gravedad

También conocido como riego por superficie [8]. Este es el método de riego más antiguo y no necesita aporte de energía alterna. Según González José María [10], el riego por superficie se categoriza en: inundación de canteros, escurrimiento libre y entables cerrados, riego por surcos, riego por alcorques, entre otros.

El agua se conduce en contacto con la superficie y a través de los emisores de cada categorización mediante la fuerza gravitatoria, y al mismo tiempo se va infiltrando [9]. Es el único método que utiliza la misma superficie del suelo para la distribución del agua, por esta razón, la superficie o terreno a regar debe estar bien preparado y nivelado, para que el movimiento del agua no se encuentre frente a obstáculos o irregularidades que alteren la distribución del agua [9].



Figura 2. Riego por surcos [11]

Según Santos Pereira Luis [8], este método corresponde aproximadamente al 80% de las áreas regadas en todo el mundo; técnicamente es el método más apropiado

para suelos llanos y pesados, y económicamente para cultivos dentro de sistemas de producción.

1.4.2 Riego por aspersión

De acuerdo con Fernández Rafael [12], la aspersión consiste en simular la precipitación de la lluvia al momento de aplicar y distribuir el agua de regadío. En este método, el agua se comunica por conducción forzada hacia el aspersor; lo cual requiere de un equipo de impulsión que aporte la energía externa necesaria para conseguir esta aplicación, proporcionando al agua la presión suficiente, llamada presión de trabajo.



Figura 3. Emisores de sistemas de riego por aspersión [13]

Según Santos Pereira Luis [8], cerca del 10% de las áreas de riego en todo el mundo utilizan este método. Todas las innovaciones que se ha desarrollado a partir de este método de riego, han adaptado a la aspersión a todo tipo de suelo, topografía, cultivos y factores climáticos.

Explica Tapia Daniel [14], el control en la aplicación y distribución del agua de regadío hace que este método cubra la necesidad hídrica en suelos de características áridas con mínima velocidad de infiltración [12]; alcanza una eficiencia de hasta 86 % de utilidad hídrica al suelo y cultivo.

1.4.3 Riego localizado

Este es el método más moderno explica Castañón Guillermo [9], agrupa todos los sistemas caracterizados por una red de distribución de agua fija, que permite pequeños aportes hídricos continuos en lugares determinados en relación al cultivo, de forma que la infiltración de dicha agua sólo se produzca sobre una fracción reducida de la superficie del suelo.

Según Santos Pereira Luis [8], también se lo denomina microrriego, que es un riego que aplica agua a presión en un lugar determinado del cultivo. De acuerdo al tipo de emisor el riego localizado agrupa cuatro categorías: riego por goteo, microaspersión, riego a chorros y riego sub superficial o subterráneo.



Figura 4. Riego localizado en hidroponía [15]

1.5 Sistema de riego

Se entiende por sistema de riego al conjunto de equipamientos y técnicas que proporcionan esa aplicación siguiendo un método dado [8]. A partir de esta definición, se expone los sistemas de riego más relevantes:

1.5.1 Sistema de distribución del agua en canteros y surcos

Según Santos Pereira Luis [8], se utilizan tubos perforados o tubos con compuertillas de dimensión regulable a través de válvulas. Es el sistema de riego más económico, se compone de elementos simples, en algunos casos no dispone de ningún accesorio y su práctica y aplicación se lo realiza con técnicas agrícolas comunes [9].

1.5.2 Sistema de riego por aspersión

Según Castañón Guillermo [9], el método de aspersión comprende la siguiente clasificación de sistemas de riego:

a) Sistemas móviles

Explica Castañón Guillermo [9], el sistema móvil es el más simple de los sistemas de aspersión. Consta de un grupo bombeo fijo o estacionario que distribuye el agua por tuberías de conexión rápida, en las cuales van instalados los emisores de aspersión [9].

b) Sistemas semimóviles

Normalmente la línea principal es fija, se puede encontrar enterrada o sobre la superficie del terreno, permitiendo que los ramales de distribución queden libre para su fácil desplazamiento [12].

c) Sistemas de aspersión fija

En este sistema se entierran las tuberías, quedando únicamente sobre el terreno las conexiones de los aspersores [9]. Se suelen utilizar pequeñas secciones de tuberías, ya que circula únicamente el caudal de los aspersores, ubicadas en diferentes posiciones de acuerdo con la distribución del sistema en el terreno [16].

d) Sistemas autopropulsados y especiales

Es un sistema de riego versátil, que busca reemplazar al sistema móvil. Consta por un solo aspersor de gran tamaño, o con alas o ramales con numerosos aspersores que se mueven por el terreno al mismo tiempo que lo riegan [9].

1.5.3 Sistemas de riego localizado

Suele ser un sistema fijo, que cubre todo el terreno, por lo que la mano de obra necesaria es mínima. Permite una alta frecuencia de riegos sin aumentar los gastos, manteniendo un alto contenido de agua en la zona de raíces [9]. Dentro de su aplicación, el riego localizado presenta los siguientes sistemas [8]:

a) Riego por goteo

Según Castañón Guillermo [9], el agua se distribuye puntualmente a través de unos emisores que la depositan gota a gota sobre el terreno, llamados goteros.

b) Tuberías o cintas

Suministran el agua a lo largo de toda su longitud, a través de orificios los cuales pueden ser de dos tipos: perforados y porosos [8].

c) Microaspersión

Este sistema utiliza micro aspersores o difusores para distribuir el agua, con radio mojado pequeño, menor de 6 metros [8].

d) Riego a chorros

Consiste en aplicar pequeños chorros de agua en basillas a ras del suelo, adyacentes a cada planta. Se constituye por emisores especiales, designados difusores que impulsan el agua con pequeños caudales intermitentes [8].

e) Riego subsuperficial

Según Santos Pereira Luis [8], el agua se aplica a través de emisores integrados en ramales colocados por debajo de la superficie del suelo, es decir, toda la red de tuberías se encuentran enterradas.

1.6 Elementos de un sistema de riego

Existen muchas variables tecnológicas en los sistemas de riego, gran parte de estos elementos son determinantes en un sistema, pues son los elementos y accesorios los cuales definen un método de riego como tal. Asimismo, todos los sistemas de riego tienen varios elementos y accesorios en común que los constituyen. A continuación se indica los componentes de instalación de los sistemas de riego anteriormente expuestos.

1.6.1 Fuente de agua

La calidad del agua depende de un cierto número de factores: el origen del agua, la ubicación geográfica, y las condiciones meteorológicas prevalecientes [13]. Entre las fuentes de agua más comunes están: reservorios, pozos, aguas residuales, canales, ríos, acequias, lagunas, vertientes naturales de montañas y páramos, entre otras.

1.6.2 Grupo de bombeo

Compuesto por una o varias bombas, según la potencia necesaria. Generalmente se suelen utilizar las centrífugas [9]. Son accionadas por un motor de combustión o eléctrico, que tiene la función de elevar el agua desde su origen y alimentar al sistema de riego con la presión necesaria para activar a los emisores [8].

1.6.3 Tuberías o red de tuberías

La tubería principal conduce el agua desde la bomba a las tuberías secundarias, y estas a los ramales. La tubería principal normalmente suele estar fija y enterrada, y

los materiales que lo componen generalmente son el acero galvanizado, fibrocemento y plásticos de alta densidad. Las tuberías secundarias pueden ser móviles o fijas, conformadas por aluminio ligero o de plástico para facilitar su desplazamiento de un lugar a otro [8].

1.6.4 Los ramales

También conocidos como laterales explica Santos Pereira Luis [8], que son las tuberías donde se montan los emisores del sistema, por ejemplo aspersores en un sistema de aspersión y pueden ser fijos, desplazables o móviles.

1.6.5 Emisores

Se denominan emisores a los dispositivos usados en el riego con la finalidad de disipar la carga hidráulica y liberar un pequeño o grande caudal de modo constante [8]. Los emisores pueden ser clasificados según numerosos criterios [8]:

- El régimen de descarga
- La disipación de la presión
- La conexión de la tubería
- La distribución del agua
- Forma de sección transversal
- La capacidad de obstruirse
- Capacidad de compensar las variaciones de presión
- El material de construcción, entre otros

Los emisores son determinantes ya que de ellos se atribuye el nombre del método en la aplicación [9]. Los emisores habituales son [8]:

a) Goteros

Un gotero es un aparato fijo en el ramal de riego, cuya misión es dejar salir el agua de una manera controlada, gota a gota o mediante un pequeño chorro [9]. Se los utiliza en la agricultura, horticultura, invernaderos, paisajística [13].



Figura 5. Emisor de gotero [17]

b) Aspersores

Los aspersores son dispositivos que distribuyen a través de una boquilla un chorro de agua a presión sobre el terreno en forma de lluvia girando sobre su eje vertical [9]. Los aspersores pueden clasificarse en rotativos de impacto, rotativos de turbina y aspersores de plato rotativo. Los aspersores se aplican en la agricultura, jardinería, escenarios deportivos y paisajística [13].



Figura 6. Aspersor rotativo de turbina [8]

c) Difusores o aspersores estáticos

Según Santos Pereira Luis [8], son muy populares en los laterales móviles porque requieren una presión muy baja, el agua se dispersa en círculo al chocar el chorro contra una placa, que puede ser plana o estriada, fija o balanceante. Se utilizan en la jardinería, escenarios deportivos y paisajística [13].



Figura 7. Difusor para lateral fijo [8]

d) Tubos perforados

Consisten en una tubería con pequeños orificios colocados longitudinalmente y por los cuales el agua sale en pequeños chorros. Esas tuberías pueden ser estacionarias u oscilantes alternativamente para ambos lados de su eje central. Se utilizan en horticultura y jardinería [8].



Figura 8. Manguera perforada [18]

e) Cañones

Se denominan cañones a los grandes aspersores rotativos que funcionan con alta, o muy alta presión, para regar grandes superficies. El termino cañón se debe al gran tamaño del aspersor y a su capacidad para distribuir grandes cantidades de agua [8].



Figura 9. Cañón de riego JET 40 con un radio de alcance entre 20 y 43 m [19]

f) Micro aspersores

Según Santos Pereira Luis [8], los micro aspersores tienen funcionamiento similar al de los aspersores de baja presión y difusores, aplican caudales más pequeños y centralizados sobre una área de regadío en específico. Son idóneos en la agricultura para plantas frutales y horticultura.



Figura 10. Micro aspersor Jet JFR [20]

g) Cinta exudante

Forma parte de la nueva tecnología del riego textil, originado en Europa por Josep Masó Marcet, Gerente de Texbor S.A. e Ingeniero Textil y Mecánico, para aplicarse en la agricultura de manera subterránea, tapada o superficial . La aplicación del agua se realiza de forma localizada [21].



Figura 11. Riego localizado por exudación PORITEX [21]

1.6.6 Elementos y accesorios de sistemas de riego

Los elementos que conforman un sistema de riego hacen que disponga de adaptabilidad a casi todos los tipos de suelo, configuración flexible y control absoluto en su funcionamiento. Entre estos elementos se encuentran dispositivos y accesorios mecánicos como: válvulas, codos, acoples, reducciones de sección, empaques, filtros, turbomaquinas, entre otros. Además, un sistema de riego tiene instrumentos como manómetros, medidores de flujo másico, medidores de caudal y dispositivos electrónicos de control para la automatización del mismo [14].

1.7 Influencia de los factores climáticos

En Ecuador existen zonas con características meteorológicas severas, donde la humedad relativa es baja, ausencia de lluvias, presencia de suelos semi áridos a áridos; factores determinantes para la implementación de un sistema de riego [9]. Los factores climáticos más influyentes a considerar en el diseño de un sistema de riego son:

- Humedad relativa del aire
- Temperatura ambiente
- Velocidad del viento [9]

Los factores meteorológicos en el diseño de un sistema de riego se los analiza por medio de cálculos experimentales empíricos, con alta incertidumbre, los cuales estiman el consumo de agua por el suelo y las necesidades hídricas en los cultivos [8]. A continuación se define las principales estimaciones involucradas con los factores meteorológicos.

1.7.1 Evaporación

Representa el paso del estado líquido al estado de vapor del agua. Sea cual fuere la superficie en la que se produzca, necesita calor, prácticamente 600 calorías por gramo que, por lo general, es aportado por la energía radiante del sol [9].

1.7.2 Transpiración

Fenómeno físico de evaporación del agua de las plantas hacia la atmósfera, se puede considerar como la respuesta de dichas plantas a la demanda atmosférica [8]. Se produce sobre todo en las hojas, pero también a través de los tallos, las flores, etc. La mayor parte se efectúa a través de los estomas, pequeños agujeros situados en la parte inferior de las hojas, no expuestos a los rayos solares, aunque también se produce a través de la cutícula, membrana protectora que cubre las hojas [9].

1.7.3 Evapotranspiración (ET)

Comprende la suma de dos procesos fundamentales, la transpiración de la cubierta vegetal y la evaporación de agua desde el suelo que la soporta [8]. La ET puede medirse directamente con lisímetros, e indirectamente con métodos micro meteorológicos que se estiman mediante diferentes modelos; estos tienden a ser empíricos como tal, como lo son los registros periódicos de distintas variables climáticas [9].

1.8 Riego en campos de fútbol

Las características especiales que posee este tipo de riego lo diferencian de un sistema de riego estándar de jardinería o agrícola. La idoneidad en la aplicación de materiales, libre ubicación del sistema dentro del campo de juego, seguridad a los jugadores, instalación versátil y mantenimiento flexible lo caracterizan como tal [22].

El método ideal y de mayor aplicación en la actualidad para la irrigación de campos de fútbol es el método de aspersión, este método al disponer amplia gama de emisores permite un sin número de configuraciones previo al diseño de sistemas de riego para campos de fútbol y escenarios deportivos en general [23]. A continuación se presenta algunas disposiciones de sistemas de riego para campos de fútbol:

1.8.1 Instalación con aspersores de pistón de diámetro pequeño

La distribución clásica de esta instalación dispone de 24 aspersores, 6 líneas con 4 aspersores cada una, a un espaciamiento de 24 m por 24 m para los aspersores de círculo completo [22].

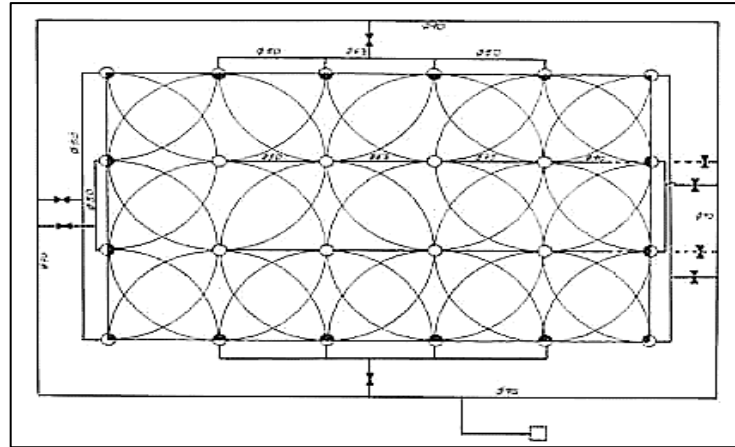


Figura 12. Configuración clásica de aspersores con pistón de diámetro pequeño [22]

Los emisores se encuentran distribuidos en la misma línea, pero regando en diferentes posiciones del campo, es necesario ajustar el radio mojado de cada aspersor y así obtener una pluviometría regulada [22].

A partir de la configuración mencionada, se establece 8 ramales que operan de manera independiente lo que proporciona un riego de alta calidad. Por lo tanto, los aspersores ubicados en el mismo sector operan simultáneamente, pero con un riego de alta precisión y mayor uniformidad [22].

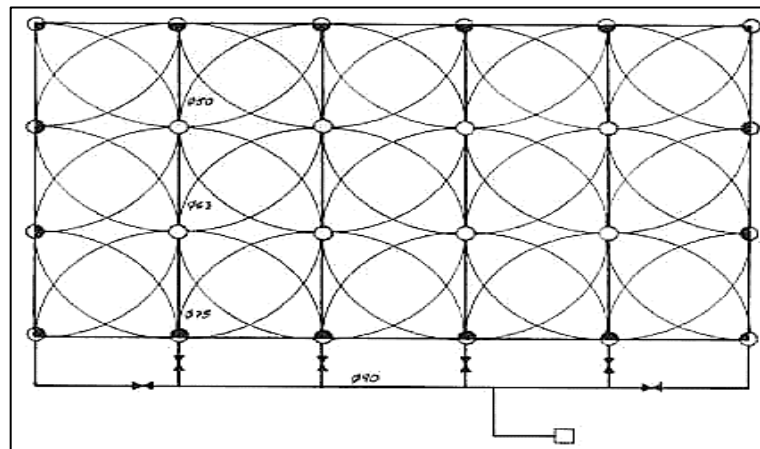


Figura 13. Distribución de aspersores con pistón de diámetro pequeño y sectorizados [22]

1.8.2 Instalación con aspersores de pistón de gran diámetro

Una distribución con este tipo de aspersores comprende de 3 aspersores dentro del campo de juego y 10 en la periferia. Los aspersores de la periferia tienen gasto de caudal fuera del campo de juego [22].

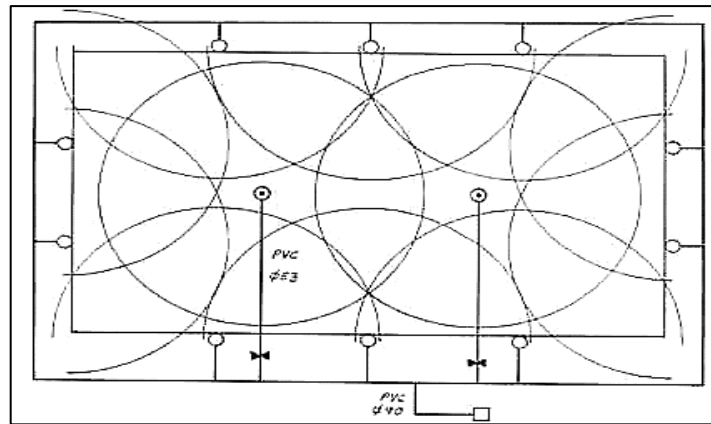


Figura 14. Distribución de 3 aspersores dentro del campo de juego y 10 en la periferia [22]

1.8.3 Instalación de cañones

Esta distribución tiene la ventaja de una puesta en marcha versátil, pero requiere un caudal y una presión elevada ($55 \text{ m}^3/\text{h}$ y 7 bares por estación) [22].

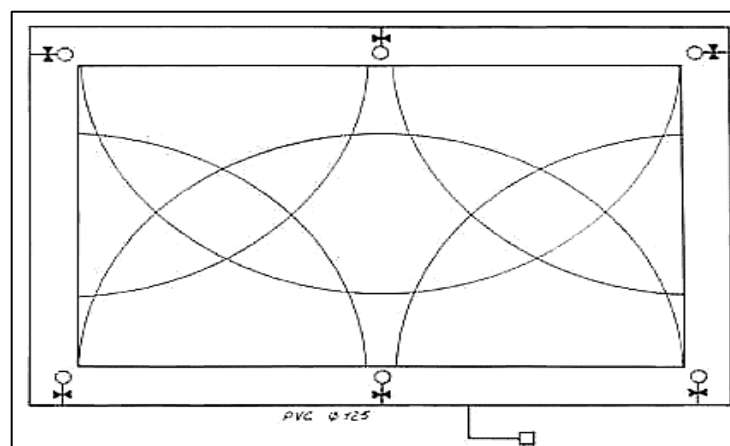


Figura 15. Distribución de 6 cañones en la periferia del campo de juego [22]

1.8.4 Distribución triangular de aspersores

Es una de las disposiciones de mejor distribución de riego, presenta uniformidad y cobertura total en el campo de juego [22].

Su configuración está dada con al menos 16 aspersores dentro del campo de juego, no presenta riesgo hacia los jugadores y son imperceptibles dentro del campo. Esta

distribución necesita una presión de al menos 6 kg/cm^2 en cada ramal que conecta a los aspersores, y se suministra caudal a través de una red de tuberías simple [22].

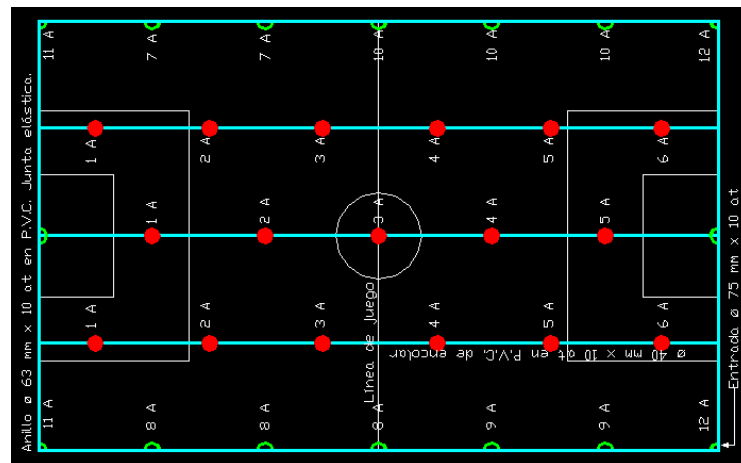


Figura 16. Distribución triangular con 16 aspersores en el exterior y 17 dentro del campo [22]

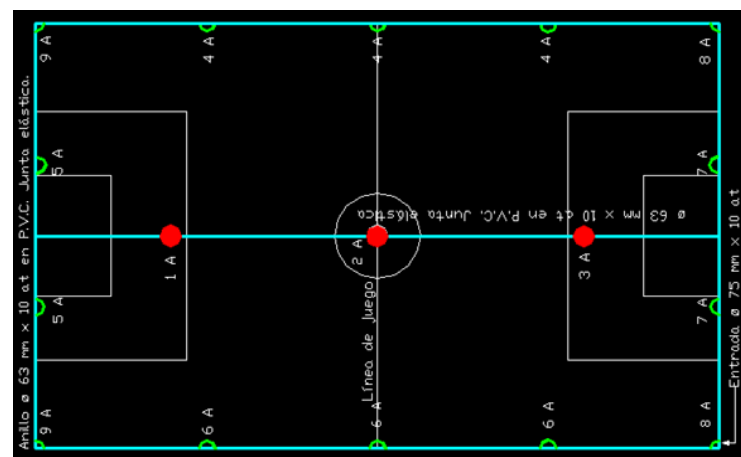


Figura 17. Distribución triangular con 14 aspersores en el exterior y 3 cañones dentro del campo [22]

1.9 Césped para estadios de fútbol

Se define al césped como el tapiz vegetal herbáceo de escasa altura, se encuentra integrado por especies de la familia de las Gramíneas. Las Gramíneas, constituyen una de las familias más numerosas del reino vegetal, encontrándose alrededor de 700 géneros y unas 10 000 especies. Sin embargo, no todas las especies y géneros que constituyen a las Gramíneas se pueden utilizar para césped [24]. Las gramíneas se caracterizan por su porte erguido, hojas lineales, lámina foliar con nervaduras paraleliformes, raíces fibrosas, extendidas y ramificadas. En lugar de tallo poseen una caña envuelta por una vaina [24].

1.9.1 Especies de césped

En la Tabla 3 se presenta las especies de césped más utilizadas en la región.

Tabla 3. Especies de césped [24]

NOMBRE COMÚN	NOMBRE CIENTÍFICO
Agrostis	Agrostis stolonifera
Festuca alta	Festuca arundinacea
Festuca roja	Festuca rubra
Rye grass anual	Lolium multiflorum
Rye grass perenne	Lolium perenne
Poa de los prados	Poa pratensis
Poa trivialis	Poa trivialis
Trébol Blanco	Trifolium repens
Gramma bahiana	Axonopus compressus
Gramilla	Cynodon dactylon
Oreja de ratón	Dichondra repens
Kikuyo	Pennisetum clandestinum
Gramillón	Stenotaphrum secundatum
Zoysia	Zoysia japonica
Gramilla híbrida enana	Tifeagle o Tifdwarf
Gramilla híbrida	Tifway

A continuación se extiende el contenido de diferentes especies de césped utilizadas en escenarios deportivos, en particular fútbol que es la disciplina del tema propuesto en este proyecto.

1.9.2 Césped para uso deportivo

Tiene grado de nivel estético, es muy resistente al pisoteo y de uso diario. También presenta resistencia a las plagas y enfermedades [23]. A continuación se expone especies relevantes que cumplen con estos parámetros:

a) *Lolium multiflorum*, Rye grass anual

Características: Posee hojas de textura media - fina, verde claro. Resiste medianamente la sequía, la salinidad, la compactación y corte bajo. Apto al pisoteo, tolera el frío, y tiene crecimiento rápido. Es una especie anual que se propaga por semilla [24].

Uso: Se utiliza en parques, jardines y campos deportivos [24].

b) *Poa trivialis*, Poa trivialis

Características: Tiene hojas de textura fina, color verde claro. No tolera las altas temperaturas, la sequía ni la salinidad. Es anual, de crecimiento lento, y se implanta por semilla [24].

Uso: Se utiliza en campos deportivos [24].

c) *Pennisetum clandestinum*, Kikuyo

Características: Tiene hojas gruesas, color verde brillante. Es una especie perenne, de germinación muy lenta y crecimiento muy agresivo e invasivo, rastrero y compacto. Soporta bien los daños, tiene gran capacidad de recuperación, tolera las altas temperaturas, la compactación, sequía y la salinidad. Resiste el pisoteo y ser arrancada. Apto para todo tipo de suelo, con preferencia suelos arenosos y buen drenaje. Se propaga por panes o semillas [24].

Uso: Se utilizan en parques, jardines y campos deportivos [24].

d) *Zoysia japonica*, Zoysia

Características: Posee una hoja fina, verde oscura. Es una especie perenne, de crecimiento lento, muy invasiva. Es resistente al pisoteo, la sequía, la compactación y la salinidad media. Soporta bien la sombra, las altas temperaturas, se adapta a muchos tipos de suelos, algo ácidos y de fertilidad media. Se propaga por gajos y semillas [24].

Uso: Se utiliza específicamente para campos deportivos [24].

e) Tyfway, Gramilla híbrida

Características: Posee hojas finas, color verde oscuro opaco. Es perenne, de crecimiento agresivo y alto. Tolerancia muy bien el sol, temperaturas elevadas, soporta la salinidad, la compactación y el pisoteo. Tiene gran poder de recuperación y gran adaptación a todo tipo de suelos. Se propaga por gajos e impide el crecimiento de malezas [24].

Uso: Se utiliza en parques, jardines y campos deportivos [24].

CAPÍTULO II

METODOLOGÍA DE SELECCIÓN Y CONFIGURACIÓN DEL SISTEMA DE RIEGO

A partir de este capítulo se materializa el objetivo del proyecto propuesto. En un inicio se expone antecedentes y datos relevantes del Estadio Rafael Cabrera. Por medio de un diagnóstico de campo se presenta el estado del sistema de riego actual, los recursos hídricos disponibles, entre otros. Haciendo uso de la información propuesta en el Capítulo 1, se aplicará la metodología de selección consiguiente a la configuración y diseño del sistema.

2.1 Antecedentes

El GADM de San Miguel de Urcuquí es el principal ente constitucional encargado de la planificación, control y dirección de todos los escenarios deportivos del cantón. Por otra parte, Liga Deportiva Cantonal de Urcuquí (LDCU), es una institución que pertenece a la federación deportiva de Imbabura, cuya misión es realizar actividades de masificación y recreación deportiva en el cantón Urcuquí, y tiene el compromiso de desarrollar una gestión administrativa y financiera con el fin de proporcionar calidad en los procesos formativos en cuanto al deporte del cantón.

LDCU se formaliza a fines de 1 986 con la iniciativa del Profesor Bolívar Reina, docente del Colegio Técnico Urcuquí, con el fin de crear una reguladora del deporte cantonal [25].

2.1.1 Estadio Rafael Cabrera

Es un escenario deportivo multidisciplinario que cuenta con un campo de fútbol reglamentario, una pista de atletismo en su periferia, una cancha de indor fútbol, tres tribunas generales, áreas para la construcción de infraestructura, un bloque de oficinas correspondiente a Liga Deportiva Cantonal de Urcuquí, instalaciones sanitarias y todos los servicios básicos urbanos. En el Anexo 3 por medio de un croquis se indica la ubicación del Estadio Rafael Cabrera.

2.2 Diagnóstico del sistema de riego actual del Estadio Rafael Cabrera

2.2.1 Sistema hidráulico

- Emisor

El estadio tiene un sistema de riego móvil por aspersión con un solo emisor tipo cañón, el cual se encuentra fijo sobre un mecanismo móvil que sirve para desplazarlo en diferentes posiciones del campo de juego. El desplazamiento del cañón se realiza de forma manual y necesita la intervención de mano de obra para su montaje, conexión y desplazamiento.



Figura 18. Cañón empleado en el sistema de riego del estadio Rafael Cabrera

Fuente: Joao Sebastian Salas Quelal

- Equipo de bombeo

El sistema es impulsado por una electrobomba centrífuga (el caudal y carga hidráulica se desconoce) que presenta las siguientes características en la placa en su motor:

Tabla 4. Datos de placa del motor de la bomba

Electrobomba Centrífuga			
kW(HP - cv)	5.5 (7.5)	220/380/440 V	NBR.7094
RPM min-1	3 500	19.1/11.1/9.55 A	11/02 BF77274
Hz	60	MAX AMB 40°C	ALT 1000 m
Cos φ	0.87	MOTOR INDUCTIVO TRIFÁSICO	

Fuente: Joao Sebastian Salas Quelal

El motor de la bomba funciona con energía eléctrica, la operación de arranque y apagado se realiza manualmente por medio de interruptores.



Figura 19. Grupo de bombeo del estadio Rafael Cabrera
Fuente: Joao Sebastian Salas Quelal

- Almacenamiento hídrico

El estadio dispone de una cisterna de 45 m³ que almacena agua de regadío agrícola captada desde una acequia proveniente de San Eloy (sector aledaño al estadio). Para alimentar la cisterna con el agua que circula en la acequia se utiliza una motobomba.



Figura 20. Cisterna de almacenamiento
Fuente: Joao Sebastian Salas Quelal

Tabla 5. Datos de placa de la moto bomba

GASOLINE WATER PUMP			
Model	TP50	Engine	160 P
Max. Head	25 m	Rated Speed	3600 rpm
Max. Capacity	30 m ³ /h	Year	2013
Max. Suction Head	8 m	S/N	
Altitude Height	≤ 1000 M		

Fuente: Joao Sebastian Salas Quelal

- Tubería

La tubería de descarga se encuentra enterrada en el campo de fútbol, es de PVC y tiene un único terminal activo que se encuentra en el costado derecho del centro del campo de juego, sentido sur - norte. El terminal comprende de un acople con una válvula.



Figura 21. Terminal de descarga del sistema

Fuente: Joao Sebastian Salas Quelal

2.2.2 Recursos hídricos

El agua es captada de una acequia que desprende de una red de regadío agrícola que circula por gravedad en San Eloy (sector aledaño al estadio) [26]. Las propiedades que presenta este fluido son las siguientes:

Tabla 6. Parámetros físicos de muestras de los vertederos que alimentan el agua de regadío de San Eloy [27]

PARÁMETROS	UNIDAD	MUESTRAS			
		M1	M2	M3	M4
Color verdadero	Pt-Co	10	9	10	12
pH	u	8	7.7	7.7	7.8
Temperatura del agua	°C	11.1	11.9	12.8	12.6
Densidad	g/ml	0.999	0.999	0.999	0.999
Turbidez	UTN	0.6	1.2	1.17	1.3
Conductividad	uS/cm	29.6	31.1	30.9	29.7
Sólidos totales	mg/l	88	96	86	82
Sólidos suspendidos	mg/l	58	52	42	42
Sólidos totales disueltos	mg/l	30	44	44	40
Caudal	l/s	10.56	10.34	3.88	1.46

Tabla 7. Parámetros químicos de muestras de los vertederos que comprenden el agua de regadío de San Eloy [27]

PARÁMETROS	UNIDAD	MUESTRAS			
		M1	M2	M3	M4
Cloruros	mg/l	4,7	3,2	12,5	5,3
DBO	mg/l	1	1,2	1,2	1,4
Dureza total, CaCO ₃	mg/l	28	20	15	27
Calcio	mg/l	9,0	5,3	2,3	3,2
Fluoruros	mg/l	0	0	0	0
Hierro soluble	mg/l	0,01	0,01	0	0,02
Nitratos	mg/l	2	0,9	2,6	1,5
Nitritos	mg/l	0,01	0,01	0,004	0,01
Sulfatos	mg/l	0	0	0	0
Alcalinidad total	mg/l	60	56	62	70
Bicarbonatos	mg/l	60	56	62	70
Potasio	mg/l	2,1	2,1	1,8	1,6
Fosfatos	mg/l	0,2	0,35	0,29	0,32

2.2.3 Césped

El campo de fútbol tiene un tapiz vegetal de la especie de césped Pennisetum Clandestinum, tradicionalmente conocida como Kikuyo.



Figura 22. Kikuyo del estadio Rafael Cabrera
Fuente: Joao Sebastian Salas Quelal

2.3 Metodología de selección y diseño del sistema de riego

El diseño de un sistema de riego comprende varios factores que se van formulando secuencialmente hasta la concepción del mismo. En primera instancia se encuentra la selección del método, y en consecuencia, todos los parámetros que intervienen en la determinación de este [8]. El método de riego se debe ajustar a los recursos disponibles que formarán parte del sistema, y debe considerar estos parámetros:

- Fuente de agua
- Balance hídrico y necesidades de agua por suelo y cultivo
- Configuración del sistema
- Diseño hidráulico
- Diseño hídrico [8]

2.4 Método de riego

De acuerdo con Santos Pereira Luis [8]: adaptabilidad al suelo, optimización de agua, máxima infiltración, mínima generación de escorrentía superficial, uniformidad, flexibilidad, amplia gama de emisores, mínima intervención de mano

de obra y apropiado para la mayoría de cultivos, este proyecto se desarrollará por el método de aspersión.

2.5 Fuente de agua

El fluido de trabajo que se utilizará en el diseño del sistema es el agua almacenada en la cisterna del estadio.

2.6 Balance hídrico y necesidades de agua por suelo y cultivo

La determinación de las necesidades hídricas por parte del suelo y cultivo requieren de cálculos empíricos [8], en los cuales intervienen datos meteorológicos de un sector en particular.

Estos datos presentan variabilidad permanente en función de las estaciones climáticas y la naturaleza misma de su comportamiento [9], por esta razón, en el segmento de diseño hídrico se utilizarán datos recomendados en base a las características taxonómicas que presenta el suelo en el que yace el estadio, asimismo, considerando las propiedades del césped Kikuyo se establecerá los parámetros bajo los cuales se cubrirán las necesidades hídricas respecto al cómo, cuánto y cuándo aplicar la irrigación por medio de este sistema [24].

2.7 Configuración del sistema

2.7.1 Planteamiento de la alternativa de diseño

A partir de la información sobre el riego en campos de fútbol, las soluciones más eficientes en términos de funcionamiento hidráulico corresponden a los sistemas de riego que operan sus ramales por medio de estaciones independientes en diferentes sectores de la superficie a regar [22].

Una consideración importante es la geometría del campo de juego, al ser un estadio de carácter olímpico la distribución de los ramales se debe adaptar a las particularidades de este. La configuración determinada se adapta a la geometría de un campo de fútbol olímpico, como el Estadio Rafael Cabrera, la distribución de los ramales y puntos de aspersión son simétricos al trazado del mismo.

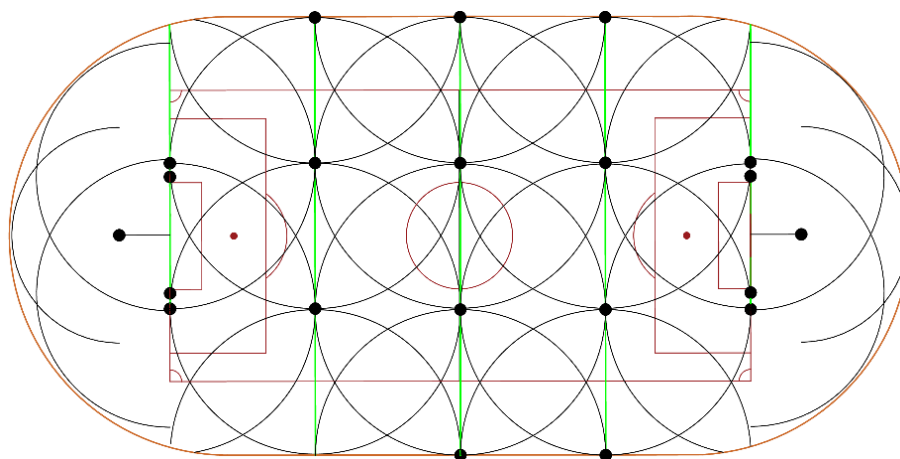


Figura 23. Configuración determinada previo al diseño
Fuente: Joao Sebastian Salas Quelal

2.7.2 Dimensionamiento del sistema

Haciendo uso del levantamiento planimétrico del Estadio Rafael Cabrera facilitado por el departamento de planificación del GADM de Urcuquí [28], se dimensionó la estructura de ramales y la ubicación óptima de los aspersores, de tal forma que cubran toda la superficie del campo de juego.




En el Plano 1 se presenta la configuración que adoptará el sistema de riego estacionario por aspersión para el Estadio Rafael Cabrera.

2.7.3 Selección de aspersores

Los factores más importantes a considerar en la selección de los aspersores son: radio mojado, imperceptibilidad en campo de juego, caudal y presión de trabajo. A partir de la configuración establecida, el diseño requiere 3 diferentes magnitudes de radio mojado.

Los aspersores que presentan las especificaciones ideales al requerimiento de la configuración pertenecen al fabricante Hunter Industries. En el Plano 2 se expone la implementación de los aspersores seleccionados a la configuración determinada para el sistema.

Tabla 8. Especificaciones de los aspersores [29]

CANTIDAD	Presión		Radio	Caudal		Sector	Pluviometría	
	bar	kPa	m	$\frac{m^3}{h}$	$\frac{l}{min}$		 mm/h	 mm/h
Aspersor Hunter I – 90. Tobera azul oscuro.								
10	6.0	600	25	12.99	216.5	180°	39.6	45.8
6	6.0	600	25	12.99	216.5	360°	19.8	22.9
Aspersor Hunter I – 90. Tobera verde oscuro.								
4	5.5	550	23	11.40	190.0	180°	41.4	47.8
Aspersor Hunter I – 40. Tobera verde oscuro.								
2	3.5	350	18.5	4.48	74.6	180°	26	30

2.8 Diseño hidráulico

En este segmento se plantea todas las fórmulas pertinentes a la mecánica de fluidos y máquinas hidráulicas hábiles para el cálculo y diseño del sistema.

2.8.1 Área de una sección circular

$$A = \pi \frac{\phi_i^2}{4} \quad (1)$$

Donde:

A: Área de una sección circular [m²]

ϕ_i : Diámetro interior de la tubería circular [m]

2.8.2 Flujo volumétrico

El flujo volumétrico es el volumen de fluido que circula en una sección por unidad de tiempo [30]. Se denota así:

$$Q = A v \quad (2)$$

Donde:

Q: Flujo volumétrico o caudal [m³/s]

A: Área de la sección [m²]

v : Velocidad promedio del fluido [m/s]

2.8.3 Peso específico

Es la cantidad de peso por unidad de volumen de una sustancia [30].

$$\gamma = \frac{w}{V} \quad (3)$$

Donde:

γ : Peso específico [N/m³]

w : Peso de una sustancia [N]

V : Volumen de una sustancia [m³]

2.8.4 Viscosidad dinámica

De acuerdo con Mataix Claudio [31], el coeficiente de fricción interna de un fluido se denomina viscosidad, y se designa con la letra η [Ns/m²].

2.8.5 Viscosidad cinemática

Es la relación de la viscosidad dinámica η a la densidad ρ [31].

$$\nu = \frac{\eta}{\rho} \quad (4)$$

Donde:

ν : Viscosidad cinemática [m²/s]

η : Viscosidad dinámica [Ns/m²]

ρ : Densidad [kg/m³]

2.8.6 Número de Reynolds

Medio analítico que permite predecir el comportamiento de un fluido, laminar o turbulento, dentro de una tubería de diámetro \emptyset . Se representa por medio de un número adimensional que depende de las siguientes variables [30]:

$$N_R = \frac{v \emptyset_i}{\nu} \quad (5)$$

Donde:

N_R : Número de Reynolds

v : Velocidad promedio del fluido [m/s]

\emptyset_i : Diámetro interior de la tubería circular [m]

ν : Viscosidad cinemática [m²/s]

2.8.7 Flujo laminar y flujo turbulento

Para flujo en tuberías, se dice que, si el número de Reynolds para el flujo es menor que 2 000, éste será laminar. Si el número de Reynolds es mayor que 4 000, el flujo será turbulento [30]. En el rango de números de Reynolds entre 2000 y 4 000 se denomina como región crítica [30].

$$N_R < 2\,000 : \text{flujo laminar}$$

$$N_R > 4\,000 : \text{flujo turbulento}$$

2.8.8 Energía de flujo

Se conoce también como energía de presión o trabajo de flujo, y representa la cantidad de trabajo necesario para mover el elemento de fluido a través de cierta sección contra la presión [30].

$$E_F = \frac{P}{\gamma} \quad (6)$$

Donde:

E_F : Energía de flujo o presión [m]

P : Presión [Pa]

γ : Peso específico del fluido [N/m³]

2.8.9 Energía cinética

Energía debido a la velocidad del elemento [30].

$$E_K = \frac{v^2}{2g} \quad (7)$$

Donde:

E_K : Energía cinética [m]

v : Velocidad promedio del fluido [m/s]

g : Gravedad [m/s²]

2.8.10 Energía potencial

Debido a la elevación, la energía potencial de un elemento en relación con algún nivel de referencia es [30]:

$$E_P = z \quad (8)$$

Donde:

E_P : Energía potencial [m]

z : Diferencia de altura respecto al nivel de referencia [m]

2.8.11 Energía que se agrega al fluido del sistema

Energía que se agrega al fluido con un dispositivo mecánico, como una bomba; es habitual denominarla como carga total sobre la bomba [30]. Se denota así: h_A [m]

2.8.12 Energía que se remueve del fluido del sistema

Energía que se remueve del fluido por medio de un dispositivo mecánico, como un motor de fluido [30]. Se denota así: h_R [m]

2.8.13 Pérdidas de energía del sistema

Pérdidas de energía del sistema por la fricción en las tuberías, o pérdidas menores por válvulas, codos, filtros y otros accesorios [30]. Se denota así: h_L [m].

La magnitud de las pérdidas de energía que produce la fricción del fluido es directamente proporcional a la carga de velocidad del fluido [30]. Están presentes tanto en la succión como en la descarga del sistema, y se expresa en forma matemática así:

$$h_{Lm} = k \frac{v^2}{2g} \quad (9)$$

Donde:

h_{Lm} : Pérdidas menores debido a los accesorios del sistema [m]

K : Coeficiente de resistencia

v : Velocidad promedio del fluido [m/s]

g : Gravedad [m/s²]

2.8.14 Ecuación de Darcy

Para el caso de flujo en tuberías y tubos, la fricción es proporcional a la carga de velocidad del flujo, y a la relación de la longitud de la tubería al diámetro de la corriente [30]. Según Mataix Claudio [31], la ecuación de Darcy se utiliza para calcular la pérdida de energía debido a la fricción en secciones rectilíneas y largas de tubos redondos, tanto para flujo laminar como turbulento. Esto se expresa matemáticamente con la ecuación de Darcy:

$$h_{LM} = f \frac{L}{\phi_i} \frac{v^2}{2g} \quad (10)$$

Donde:

h_{LM} : Pérdida de energía debido a la fricción y a la relación de la longitud de la tubería al diámetro de la corriente [m]

f : Factor de fricción

L : Longitud de la corriente del flujo (longitud de la tubería) [m]

v : Velocidad promedio del fluido [m/s]

ϕ_i : Diámetro interior de la tubería circular [m]

Al termino h_{LM} se lo llamará como pérdidas mayores debido a la a la fricción y a la relación de la longitud de la tubería al diámetro de la corriente. Se lo encuentra tanto en la succión como en la descarga del sistema [30].

2.8.15 Pérdida por fricción en flujo laminar

Debido a que el flujo laminar muestra un comportamiento regular y ordenado, es posible obtener una relación entre la pérdida de energía y los parámetros mensurables del sistema de flujo [30]. Dicha relación se conoce como ecuación de Hagen-Poiseuille que es válida sólo para flujo laminar [31]. Además, puede usarse la ecuación de Darcy para calcular la pérdida por fricción para el flujo laminar. Al igualar ambas relaciones el factor de fricción se denota de la siguiente manera [30]:

$$f = \frac{64}{N_R} \quad (11)$$

Donde:

f : Factor de fricción

N_R : Número de Reynolds

2.8.16 Pérdida por fricción en flujo turbulento

Cuando existe flujo turbulento en tuberías, es conveniente utilizar la ecuación de Darcy para calcular la pérdida de energía debido a la fricción [30]. El flujo turbulento al mostrar un comportamiento caótico con constantes variaciones, requiere que en el cálculo del factor de fricción se utilicen datos experimentales como el número de Reynolds y la rugosidad relativa de la tubería [30].

- La rugosidad relativa

Es la relación del diámetro de la tubería \emptyset a la rugosidad promedio de su pared ϵ [30]. El Anexo 4 muestra una tabla con valores de diseño de la rugosidad de algunos materiales empleados para tubos. La rugosidad relativa de una tubería se plantea así [30]:

$$\frac{\emptyset}{\epsilon} \quad (12)$$

Donde:

\emptyset : Diámetro de la tubería [m o pie]

ϵ : Rugosidad promedio de la pared [m o pie]

- **Diagrama de Moody**

Uno de los métodos más utilizados para evaluar el factor de fricción es el diagrama de Moody, que por medio de una gráfica muestra el factor de fricción f versus el número de Reynolds N_R , con una serie de curvas paramétricas relacionadas con la rugosidad relativa \emptyset/ε [30]. Estas curvas las generó L. F. Moody a partir de datos experimentales [31]. El Anexo 5 ilustra el diagrama de Moody.

- **Ecuación del factor de fricción para flujo turbulento**

La siguiente ecuación permite el cálculo directo del valor del factor de fricción para flujo turbulento [30], se denota así:

$$f = \frac{0.25}{\left[\log \left(\frac{1}{3.7 \left(\frac{\emptyset}{\varepsilon} \right)} + \frac{5.74}{N_R^{0.9}} \right) \right]^2} \quad (13)$$

Donde:

f : Factor de fricción

N_R : Número de Reynolds

\emptyset : Diámetro de la tubería [m o pié]

ε : Rugosidad promedio de la pared [m o pié]

2.8.17 Coeficientes de resistencia para válvulas y acoples

En este caso se determina los datos de resistencia para el tipo en particular y de tamaño de los accesorios a utilizar, la resistencia depende de la geometría de la válvula o accesorio y se denota así [30]:

$$K = f_T \left(\frac{L_e}{\emptyset_i} \right) \quad (14)$$

Donde:

K : Coeficiente de resistencia para válvulas y accesorios

f_T : Factor de fricción

L_e : Longitud equivalente, es la longitud de una tubería recta del mismo diámetro nominal que el de la válvula, y tiene la misma resistencia que ésta [m ó pie]

\emptyset_i : Diámetro interior real de la tubería [m ó pie]

2.8.18 Ecuación general de la energía

La ecuación general de la energía es una extensión de la ecuación de Bernoulli, que permite resolver problemas con pérdida y ganancia de energía [30].

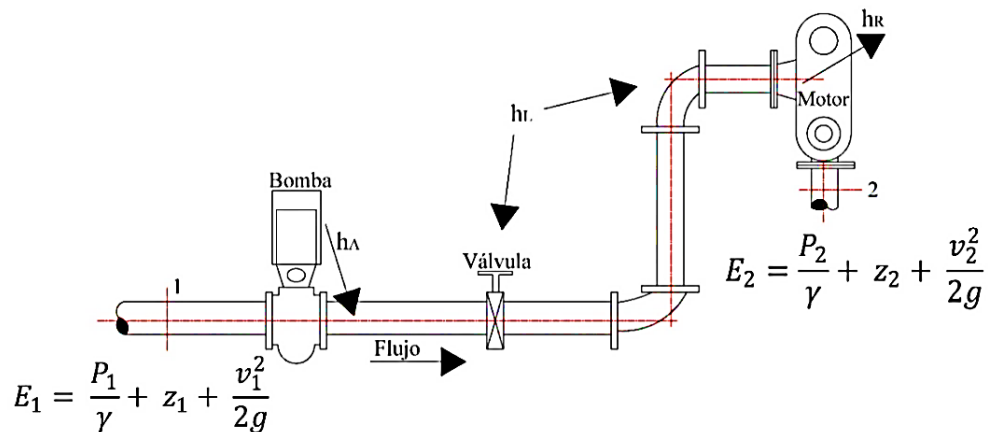


Figura 24. Sistema de flujo de fluido que ilustra la ecuación general de la energía [30]

$$\frac{P_1}{\gamma} + z_1 + \frac{v_1^2}{2g} + h_A = \frac{P_2}{\gamma} + z_2 + \frac{v_2^2}{2g} + h_R + h_L \quad (15)$$

Donde:

P : Presión [Pa]

γ : Peso específico del fluido [N/m^3]

v : Velocidad promedio del fluido [m/s]

g : Gravedad [m/s^2]

z : Diferencia de altura respecto al nivel de referencia [m]

h_A : Energía que se agrega al fluido con un dispositivo mecánico [m]

h_L : Pérdidas de energía del sistema por la fricción en las tuberías, o pérdidas menores por Válvulas, codos, filtros y otros accesorios [m]

h_R : Energía que se remueve del fluido por medio de un dispositivo mecánico [m]

2.8.19 Potencia que requieren las bombas

En la mecánica de fluidos se considera que la potencia es la rapidez con que se transfiere la energía al fluido [30], se denota así:

$$Pot = h_A Q \gamma \quad (16)$$

Donde:

Pot : Potencia que requiere la bomba [Watt]

h_A : Energía que se agrega al fluido con un dispositivo mecánico [m]

Q : Flujo volumétrico del fluido [m^3/s]

γ : Peso específico del fluido [N/m^3]

2.8.20 Tipos de bombas

Comúnmente las bombas se clasifican de la siguiente manera [30]:

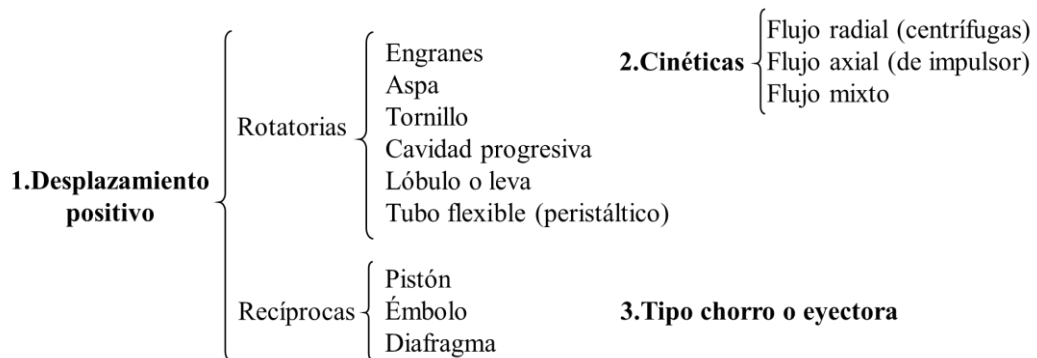


Figura 25. Clasificación de los tipos de bombas [30]

2.8.21 Bomba centrífuga

La bomba centrífuga o cinética agrega energía al fluido cuando lo acelera por medio de la rotación de un impulsor. El fluido se lleva al centro del impulsor y después es lanzado por los álabes [30]. Al salir del impulsor el fluido pasa por una voluta en forma de espiral, en donde disminuye gradualmente parte de su energía cinética, ocasionando una conversión a presión de fluido [30].

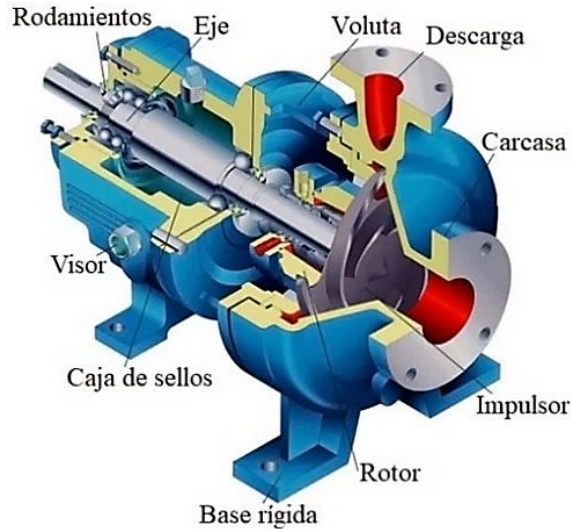


Figura 26. Partes de una bomba centrífuga ANSI MTX [32]

2.8.22 Datos del rendimiento de bombas centrífugas

La curva de rendimiento de una bomba presenta la carga total sobre la bomba h_A versus la capacidad o descarga Q (flujo volumétrico) [30]. La carga total h_A se obtiene con la ecuación general de la energía, y representa la cantidad de energía que se agrega a una unidad de peso del fluido conforme pasa por la bomba [30].

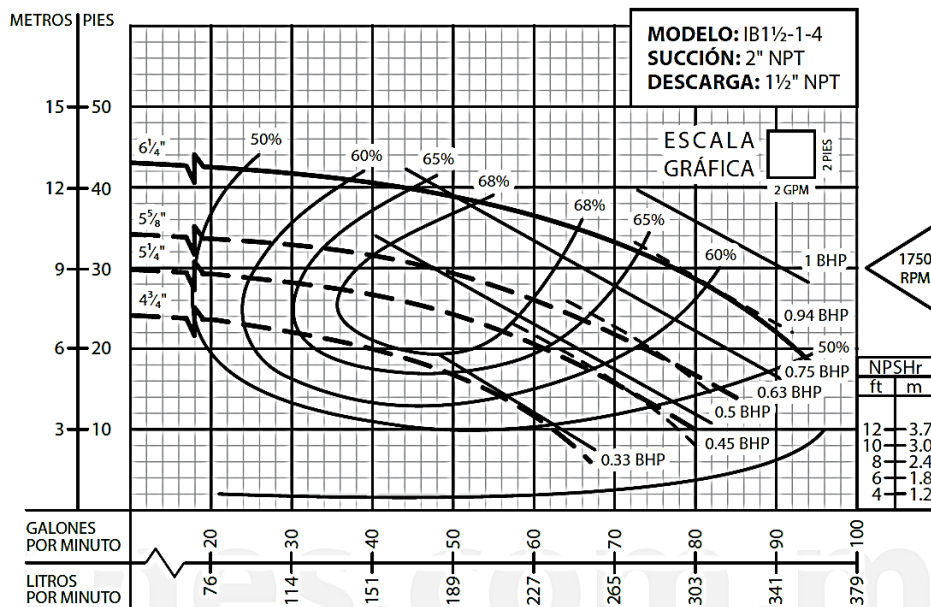


Figura 27. Curva de rendimiento - Electrobomba Centrífuga Barnes serie: IB1½ [33]

2.8.23 Punto de operación de una bomba

Se define como el flujo volumétrico *real* que la bomba enviará cuando sea instalada en un sistema [30].

2.8.24 Presión de vapor

Presión a la cual un fluido cambia de estado a una determinada temperatura, P_{vp} .

Se la usa como presión absoluta en kPa o psi [30].

2.8.25 Carga de presión de vapor

La presión de vapor de un fluido a una temperatura dada, debe dividirse entre el peso específico del fluido a dicha temperatura [30].

$$h_{vp} = \frac{P_{vp}}{\gamma} \quad (17)$$

Donde:

h_{vp} : Carga de presión de vapor [m]

P_{vp} : Presión de vapor [Pa]

γ : Peso específico [N/m³]

2.8.26 Presión estática absoluta

Presión estática absoluta que se ejerce sobre el depósito del sistema de fluido [30].

$$P_{sp} = P_{atm} + P_{man} \quad (18)$$

Donde:

P_{sp} : Presión estática absoluta [Pa ó kPa]

P_{atm} : Presión atmosférica [Pa ó kPa]

P_{man} : Presión manométrica [Pa ó kPa]

2.8.27 Carga de presión estática absoluta

Carga de presión estática absoluta sobre el fluido en el depósito del sistema [30].

$$h_{sp} = \frac{P_{sp}}{\gamma} \quad (19)$$

Donde:

h_{sp} : Carga de presión estática absoluta [m]

P_{sp} : Presión estática absoluta [Pa ó kPa]

γ : Peso específico [N/m³]

2.8.28 Diferencia de elevación

Se denota como h_s , y está dada en [m ó pie] [30].

Es la diferencia de elevación desde el nivel de referencia del fluido en el depósito del sistema, a la línea central de la entrada de succión de la bomba [30].

Si la bomba está abajo del depósito, h_s es positiva.

Si la bomba está arriba del depósito, h_s es negativa [30].

2.8.29 Pérdida de carga en la tubería de succión

Pérdida de carga en la tubería de succión debido a la fricción y pérdidas menores [30]. Se denota como h_f , y está dada en [m ó pie] [30].

2.8.30 Carga de succión neta positiva (NPSH)

Medio por el cual se garantiza que la condición del fluido que ingresa a la bomba sea la adecuada para mantenerlo en fase de líquido. Un factor principal es la presión del fluido en la entrada de la bomba, además el diseño del sistema de tubería en la succión debe proporcionar una presión suficientemente alta para evitar que se desarrollen burbujas de vapor dentro de la bomba por causa del fluido en movimiento [30], se denota como sigue:

$$NPSH_d = h_{sp} \pm h_s - h_{vp} - h_f \quad (20)$$

Donde:

$NPSH_d$: Carga de succión neta positiva disponible [m].

h_{sp} : Carga de presión estática absoluta [m].

h_s : Diferencia de elevación desde el nivel de referencia en el depósito [m].

h_{vp} : Carga de presión de vapor [m].

h_f : Pérdida de carga en la tubería de succión [m].

2.8.31 Cavitación

Cuando la presión de succión en la entrada de la bomba es demasiado baja, o el líquido alcanza la presión de vapor, se forman burbujas, el paso del fluido por el cuerpo de la bomba hace que este eleve su presión gradualmente hasta alcanzar altas presiones; el colapso de las burbujas debido a estas presiones libera cantidades grandes de energía, lo que ocasiona erosión en los álabes del impulsor, rotor, entre otros. A este fenómeno se lo conoce como cavitación [30].

2.8.32 Prevención de la cavitación

Los fabricantes de bombas realizan pruebas en cada uno de sus diseños para establecer la presión de succión que se requiere con el objetivo de evitar la cavitación [30]. De esta forma presentan la carga de succión positiva neta requerida o $NPSH_r$ de la bomba en cada estado de capacidad y carga total de operación sobre la bomba [30].

Para evitar que se genere cavitación en la bomba, es responsabilidad del diseñador del sistema de bombeo garantizar que se cumpla la siguiente relación [30] [2] :

$$NPSH_d > 1.5 \times NPSH_r \quad (21)$$

Donde:

$NPSH_d$: Carga de succión neta positiva disponible [m ó pie]

$NPSH_r$: Carga de succión neta positiva requerida [m ó pie]

2.9 Diseño hídrico

2.9.1 Tasa de aplicación

Según Santos Pereira Luis [8], la pluviosidad a la que los aspersores suministran el agua cuando están en funcionamiento se denomina tasa de aplicación o pluviometría horaria, y se denota así: I_a [mm/h]. La tasa de aplicación o pluviometría horaria depende de las características del aspersor (sector, presión, radio, caudal), y del espaciamiento entre aspersores de acuerdo a la geometría a regar [8].

De esta forma se tiene las siguientes disposiciones entre aspersores [8]:

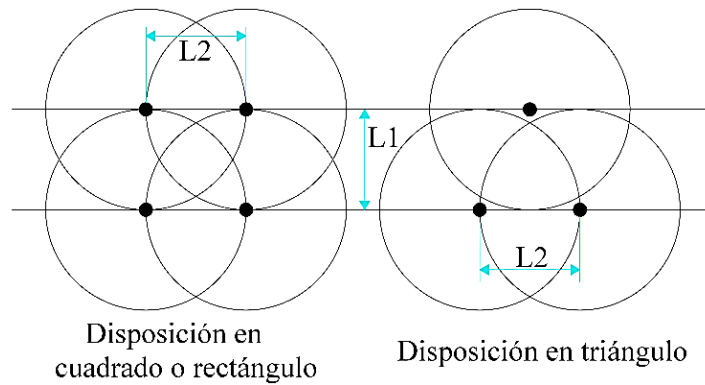


Figura 28. Disposiciones de los aspersores en sistemas estacionarios [8]

En sistemas de aspersión estacionaria I_a se expresa así [8]:

$$I_a = 1\,000 \frac{Q_a}{a_a} \quad (22)$$

Donde:

I_a : Pluviometría horaria [mm/h]

Q_a : Caudal o gasto del aspersor [m^3/h]

a_a : Área de riego de cada aspersor [m^2]

L_1 : Espaciamiento entre aspersores en el lateral [m]

L_2 : Espaciamiento entre laterales [m]

2.9.2 Efecto del viento

Explica Castañón Guillermo [9], la distribución de agua en un sistema de aspersión estacionario se ve alterado por efecto del viento y la presión inadecuada. Estas condiciones inciden en el modelo de espaciamento y pluviometría de los aspersores, así como al diámetro mojado del aspersor [8]. Para velocidades de viento superiores a los 5 km/h, el espaciamento entre aspersores debe ser reducido en un 2,5% del radio mojado especificado por el fabricante [8].

2.9.3 Tiempo de riego por posición

La palabra posición o estación es utilizada para designar el área regada por un conjunto de aspersores que se encuentran estacionarios regando simultáneamente

[8]. De esta forma, el conjunto de aspersores y tuberías definen un sector. El tiempo de riego por posición t_i (h), depende de [8]:

$$t_i = \frac{D_s}{I_a} \quad (23)$$

Donde:

t_i : Tiempo por posición [h]

D_s : Dosis de riego [mm]

I_a : Tasa de aplicación [mm/h]

CAPÍTULO III

DISEÑO Y CÁLCULO DEL SISTEMA

En este capítulo se desarrolla el diseño y cálculo hidráulico del sistema de riego en función la configuración ya establecida. Además, se elabora el diseño hídrico en base a las necesidades hídricas, cuidado y mantenimiento del césped Kikuyo en condiciones meteorológicas críticas. Finalmente, se presenta el plan de operación y mantenimiento del sistema de riego estacionario por aspersión propuesto en este proyecto.

3.1 Designación de los ramales del sistema

De acuerdo con la configuración determinada en función de la geometría del Estadio, el sistema se constituye de 5 ramales, cada ramal será nombrado por un número de la siguiente manera:

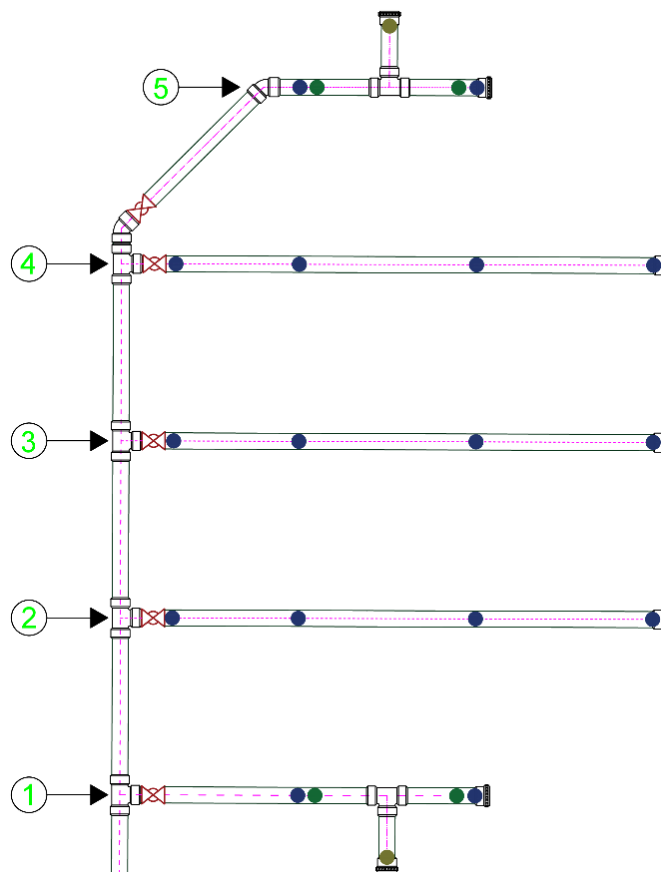


Figura 29. Designación de ramales
Fuente: Joao Sebastian Salas Quelal

Los ramales 1 y 5 presentan el mismo número de aspersores, igual disposición geométrica, hidráulica e hídrica, mismo caudal y presión de trabajo. Ambos ramales se encuentran ubicados en los extremos del campo de juego (sentido sur – norte), su demanda de caudal equivale a 887.6 l/min por cada uno, siendo el mayor caudal de consumo en el sistema. De igual forma, los ramales 2, 3 y 4 presentan las mismas particularidades de diseño, la demanda de caudal equivale a 866 l/min por cada ramal.

Nota: el cálculo de la curva del sistema se realizará en función del ramal 5, que es el más crítico en términos de diseño hidráulico, y requiere los siguientes parámetros:

$$Q_{\text{diseño}} = 887.6 \text{ l/min}$$

$$P_{\text{máx}} = 6 \text{ bar}$$

3.2 Selección de materiales

Todos los elementos y accesorios que formarán parte en la implementación de este sistema son seleccionados en base a consideraciones técnicas. El caudal de trabajo y la presión requerida de funcionamiento son los principales indicadores para corroborar en la selección de los mismos. Las especificaciones de los aspersores señalan el diámetro recomendado de la tubería sobre la cual se debe instalar las conexiones de cada aspersor, y con la configuración del sistema se estima la longitud de todas las tuberías.

En la Tabla 9 se enlista los elementos y accesorios necesarios para la óptima implementación del sistema, y en Plano 3 se ilustra esquemáticamente la instalación de los mismos en función de la configuración determinada.

Tabla 9. Elementos y accesorios del sistema

Cantidad	Unidad	Descripción
1	U	Válvula de pie 3 plg
1	U	Válvula check 3 plg
2	U	Válvula de compuerta 3 plg
1	m	Tubo HG 3 plg x 3 m (succión)
3	U	Codo 90° x 3 plg
1	m	Tubo HG 3in x 2.8 m (descarga)
1	U	Reductor 3 x 2 plg M-H PVC (pegable)
22	m	Tubo PVC E/C 2 plg x 1.25 Mpa x 6 m
56	m	Tubo PVC E/C 1 ½ plg x 1.25 Mpa x 6 m
4	U	TEE Reductora PVC 2 x 1 ½ x 2 plg (pegable)
1	U	Codo PVC 2 plg x 90° (pegable)
5	U	Válvula de bola PVC 1 ½ plg rosca hembra BSP 1 universal
2	U	Codo PVC 1 ½ plg x 45° (pegable)
1	U	Reductor 2 x 1 ½ plg M-H PVC (pegable)
2	U	TEE Reductora PVC 1 ½ x 1 x 1 ½ plg (pegable)
3	m	Tubo PVC E/C 1 plg x 1.6 Mpa x 6 m
4	U	Tapón 1 ½ plg PVC hembra (pegable)
2	U	Tapón 1 plg PVC hembra (pegable)
16	U	Aspersor hunter I-90 tobera azul oscura
4	U	Aspersor hunter I-90 tobera verde oscura
2	U	Aspersor hunter I-40 tobera verde oscura
20	U	Conexión 1 ½ plg BSP aspersor Hunter I-90
2	U	Conexión 1 plg BSP aspersor Hunter I-40
10	U	Adaptador PVC 1 ½ macho BSP AM3
3	U	Limpiador C-64 1/4 galón WELD - ON IPS
3	U	Pega PVC AMERICANA 705 1/4 galón WELD - ON IPS
5	U	Teflón amarillo industrial ALEMÁN

Fuente: Joao Sebastian Salas Quelal

3.3 Planteamiento de la ecuación general de la energía

El Anexo 6 ilustra un esquema de todo el sistema dispuesto desde el cuarto en donde se alojará el equipo de bombeo hasta la instalación en el campo de juego. En la siguiente figura se presenta un diagrama del sistema que resalta los puntos de referencia a partir de los cuales se planteará la ecuación general de la energía.

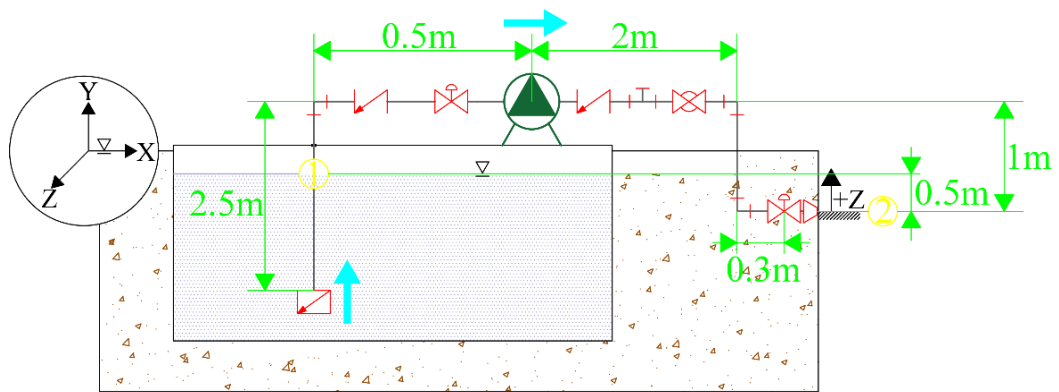


Figura 30. Diagrama del sistema – succión
Fuente: Joao Sebastian Salas Quelal

Las válvulas y accesorios están representados mediante sus símbolos, la disposición y longitud de la tubería en la succión y parte de la descarga está determinada de acuerdo al espacio físico en donde se instalará el grupo de bombeo.

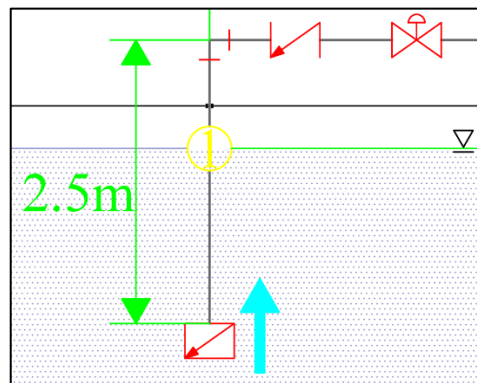


Figura 31. Detalle del punto 1 en el diagrama del sistema
Fuente: Joao Sebastian Salas Quelal

En la Figura 31 se puede apreciar que la presión manométrica en el punto 1 es igual a 0, y la velocidad a la que el fluido desciende desde el nivel de referencia equivale a 0.

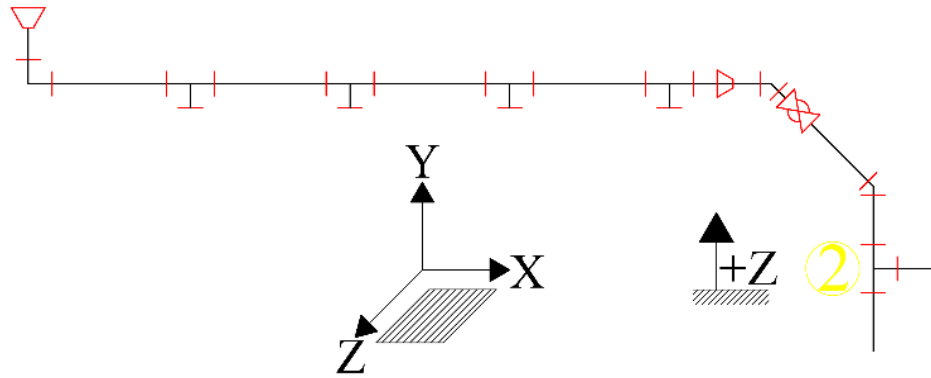


Figura 32. Diagrama del sistema – descarga
Fuente: Joao Sebastian Salas Quelal

En la Figura 32 se ilustra en detalle el punto 2, su ubicación en el espacio, los elementos y accesorios que dispone y la diferencia de nivel respecto al punto 1. La presión manométrica en el punto 2 es igual a la máxima presión de requerimiento que corresponde al aspersor Hunter I-90 tobera azul oscuro, y es igual a 6 [bar].

La diferencia de nivel respecto al punto 1 es igual a 0.5 [m] y la velocidad del fluido se calcula despejando la ecuación (2). Con estas consideraciones la ecuación general de la energía adopta la siguiente forma:

$$h_A = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + h_L - z_1$$

3.4 Desarrollo de la ecuación general de la energía

En primer lugar se expone por medio de la Tabla 10 las propiedades del fluido, los datos geográficos del cantón Urcuquí y algunos datos conocidos para el cálculo de la curva sistema que es parte del resultado de la ecuación general de la energía.

Tabla 10. Datos del sistema y propiedades del fluido [6] [26] [27]

Dato	Símbolo	Valor	
		Sist. Ingles	Sist. Internacional
Propiedades del fluido			
Peso especifico	γ	-	9.81 kN/m ³
Temperatura	T°	-	12 °C
Viscosidad cinemática	ν	-	1.308 x 10 ⁻⁶ m ² /s
Presión de vapor	P_v	-	1 402.78 Pa
Datos geográficos del cantón Urcuquí			
Gravedad	g	-	9.81 m/s ²
Presión atmosférica	$P_{\acute{a}tm}$	-	76 479.4 Pa
Datos de diseño			
Diferencia de nivel	z_1	-	0.5 m
Presión en el punto 2	P_2	87.0226 psi	600 kPa
Caudal de diseño	Q_d	887.6 l/min	14.79 x 10 ⁻³ m ³ /s

Fuente: Joao Sebastian Salas Quelal

Haciendo uso de la ecuación (1) y (2) se encuentra la velocidad del flujo en las diferentes tuberías del sistema. En el punto 2 el caudal se reduce debido al consumo del caudal de diseño por parte de los aspersores I-90 tobera azul oscuro e I-90 tobera verde oscuro como se ilustra en la Figura 33:

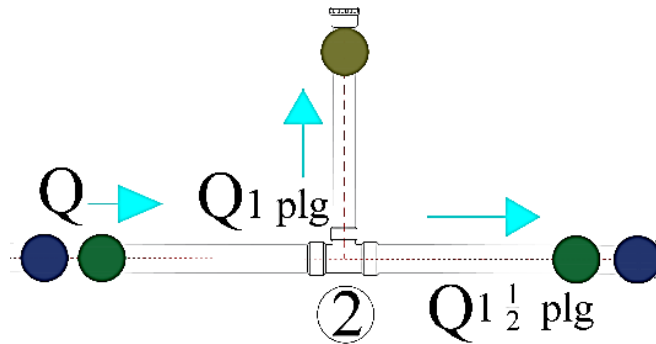


Figura 33. Detalle del punto 2 – descarga

Fuente: Joao Sebastian Salas Quelal

En la Tabla 11 se presentan los valores de los diámetros de cada tubería, su área hidráulica y la velocidad del flujo en función del caudal de diseño.

Tabla 11. Área hidráulica y velocidad de flujo en las tuberías

Diámetro interior ϕ_i		Área hidráulica	Velocidad de flujo
Sist. Ingles	Sist. internacional	$A = \pi \frac{\phi_i^2}{4}$	$v = \frac{Q}{A}$
Caudal de diseño: $Q_d = 14.794 \text{ m}^3/\text{s}$			
3 plg	0.0762 m	$4.56 \times 10^{-3} \text{ m}^2$	3.24 m/s
2 plg	0.0508 m	$2.027 \times 10^{-3} \text{ m}^2$	7.29 m/s
1 ½ plg	0.0381 m	$1.14 \times 10^{-3} \text{ m}^2$	12.97 m/s
Caudal en el punto 2: $Q_{\text{punto 2}} = 8.02 \text{ m}^3/\text{s}$			
1 ½ plg	0.0381 m	$1.14 \times 10^{-3} \text{ m}^2$	7 m/s
1 plg	0.0254 m	$5.07 \times 10^{-4} \text{ m}^2$	15.82 m/s

Fuente: Joao Sebastian Salas Quelal

A continuación se presenta los coeficientes de resistencia hidráulica de las válvulas, accesorios, y rugosidad de las tuberías.

Tabla 12. Coeficiente de resistencia en válvulas y accesorios [30] [34] [35]

Accesorio	Coeficiente de resistencia $K = \frac{L_e}{\phi} f_T$
Válvula de pie	$K = 420 f_T$
Válvula check	$K = 134 f_T$
Válvula de compuerta	$K = 8 f_T$
Válvula anti retorno	$K = 134 f_T$
Válvula de bola	$K = 150 f_T$
Codo de 90°	$K = 30 f_T$
Reducción de 3 x 2 plg	$K = 150 f_T$
TEE reductora 2 x 1 ½ x 2 plg	$K = 20 f_T$ (paso directo)
Reductor 2 x 1 ½ plg	$K = 165 f_T$
Codo de 45°	$K = 16 f_T$
TEE reductora 1 ½ x 1 plg	$K = 60 f_T$ (paso por el ramal)

Tabla 13. Factor de fricción en la zona de turbulencia completa [30]

Tamaño nominal de la tubería	Factor de fricción f_T
1 plg	0.023
1 ½ plg	0.021
2 plg	0.019
3 plg	0.018

Los factores de fricción enlistados pertenecen a tuberías de acero comercial, y se los usará como referencia al no disponer de información acerca del material PVC. Del Anexo 4 se extrae los valores de diseño de la rugosidad correspondiente a los materiales de las tuberías que formarán parte de este sistema.

- Plástico: $\varepsilon = 3.0 \times 10^{-7} \text{ m}$
- Hierro galvanizado: $\varepsilon = 1.5 \times 10^{-4} \text{ m}$

Una vez determinada la velocidad del flujo en las líneas principales y secundarias, utilizando la ecuación (5) se determina el número de Reynolds.

Tabla 14. Numero de Reynolds

Diámetro ϕ_i		Velocidad	Viscosidad	Numero de Reynolds
Sist. Ingres	Sist. Intern.	v	cinemática ν	$N_R = \frac{v \phi_i}{\nu}$
3 plg	0.0762 m	3.24 m/s	$1.308 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$	188 752
2 plg	0.0508 m	7.29 m/s	$1.308 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$	634 755
1 ½ plg	0.0381 m	12.97 m/s	$1.308 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$	377 796
1 ½ plg	0.0381 m	7 m/s	$1.308 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$	203 899
1 plg	0.0254 m	15.82 m/s	$1.308 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$	307 169

Nota: se puede observar que en todos los casos existe flujo turbulento dentro de las tuberías ($N_R > 4\,000$)

3.4.1 Pérdidas de energía en la succión

Una vez planteados todos los datos conocidos, coeficientes y factores técnicos de los materiales seleccionados para el sistema, y luego de haber determinado algunos medios analíticos propios del diseño hidráulico, el desarrollo de la ecuación general de la energía concluye con el cálculo de las pérdidas de energía del sistema.

En la Tabla 15 se determina las pérdidas menores de energía en la succión del sistema haciendo uso de las ecuaciones (9) y (14), y en la Tabla 16 se determina las pérdidas mayores en la succión con las ecuaciones (10), (12) y (13).

Tabla 15. Pérdidas menores de energía en la succión

Válvula o Accesorio	Coefficiente de resistencia $K = \frac{L_e}{\phi} f_T$	Factor de fricción f_T	Resultado $K = \frac{L_e}{\phi} f_T$
Válvula de pie	$K = 420 f_T$	0.018	$K = 7.56$
Válvula check	$K = 134 f_T$	0.018	$K = 2.412$
Válvula de compuerta	$K = 8 f_T$	0.018	$K = 0.144$
Codo de 90°	$K = 30 f_T$	0.018	$K = 0.54$
$K_{TOTAL} = \sum K_{accesorios} + K_{válvulas} , K_{TOTAL} = 10.656$			
Pérdida de energía	Gravedad	K_{TOTAL}	Velocidad
$h_{Lm} = k \frac{v^2}{2g}$	9.81 m/s ²	10.656	3.24 m/s
$h_{Lm} = 5.71 \text{ m}$			

Tabla 16. Perdidas mayores de energía en la succión

Numero de Reynolds	Rugosidad relativa	Factor para fricción en flujo turbulento	Longitud de la corriente del flujo
$N_R = \frac{v \phi_i}{\nu}$	$\frac{\phi}{\varepsilon}$	$f = \frac{0.25}{\left[\log \left(\frac{1}{3.7 \left(\frac{\phi}{\varepsilon} \right)} + \frac{5.74}{N_R^{0.9}} \right) \right]^2}$	L “longitud de la tubería”
$N_R = 188\,752$	$\frac{\phi}{\varepsilon} = 508$	$f = 0.024$	$L = 3 \text{ m}$
Diámetro interior	Velocidad promedio	Gravedad	Pérdida de energía
$\phi_i = 0.0762 \text{ m}$	$v = 3.24 \text{ m/s}$	$g = 9.81 \text{ m/s}^2$	$h_{LM} = f \frac{L}{\phi_i} \frac{v^2}{2g}$
$h_{LM} = 0.5 \text{ m}$			

Fuente: Joao Sebastian Salas Quelal

3.4.2 Pérdidas de energía en la descarga

De igual forma con la que se determinó las pérdidas de energía en la succión, se realizará una tabla por cada segmento de tubería de acuerdo a sus dimensiones.

Tabla 17. Pérdidas menores de energía en la descarga (tubería de $\phi_i = 3$ plg)

Válvula o Accesorio	Coefficiente de resistencia $K = \frac{L_e}{\phi} f_T$	Factor de fricción f_T	Resultado $K = \frac{L_e}{\phi} f_T$
Válvula anti retorno	$K = 134 f_T$	0.018	$K = 2.412$
Válvula de bola	$K = 150 f_T$	0.018	$K = 2.7$
Válvula de compuerta	$K = 8 f_T$	0.018	$K = 0.144$
Codo de 90°	$(K = 30 f_T)2$	0.018	$K = 1.08$
Reducción 3 – 2 plg	$K = 150 f_T$	0.018	$K = 2.7$
$K_{TOTAL} = \sum K_{accesorios} + K_{válvulas} , K_{TOTAL} = 9.036$			
Pérdida de energía	Gravedad	K_{TOTAL}	Velocidad
$h_{Lm} = k \frac{v^2}{2g}$	9.81 m/s ²	9.036	3.24 m/s
$h_{Lm} = 4.8 \text{ m}$			

Tabla 18. Pérdidas mayores de energía en la descarga (tubería de $\phi_i = 3$ plg)

Numero de Reynolds	Rugosidad relativa	Factor para fricción en flujo turbulento	Longitud de la corriente del flujo
$N_R = \frac{v \phi_i}{\nu}$	$\frac{\phi}{\epsilon}$	$f = \frac{0.25}{\left[\log \left(\frac{1}{3.7 \left(\frac{\phi}{\epsilon} \right)} + \frac{5.74}{N_R^{0.9}} \right) \right]^2}$	L “longitud de la tubería”
$N_R = 188\,752$	$\frac{\phi}{\epsilon} = 508$	$f = 0.024$	$L = 3.3 \text{ m}$
Diámetro interior	Velocidad promedio	Gravedad	Pérdida de energía
$\phi_i = 0.0762 \text{ m}$	$v = 3.24 \text{ m/s}$	$g = 9.81 \text{ m/s}^2$	$h_{LM} = f \frac{L}{\phi_i} \frac{v^2}{2g}$
$h_{LM} = 0.56 \text{ m}$			

Tabla 19. Pérdidas menores de energía en la descarga (tubería de $\phi_i = 2$ plg)

Válvula o Accesorio	Coefficiente de resistencia $K = \frac{L_e}{\phi} f_T$	Factor de fricción f_T	Resultado $K = \frac{L_e}{\phi} f_T$
Codo de 90°	$K = 30 f_T$	0.019	$K = 0.57$
TEE reductora 2 x 1 ½ x 2 plg	$(K = 20 f_T) 4$	0.019	$K = 1.52$
Reductor 2 – 1 ½ plg	$K = 165 f_T$	0.019	$K = 3.135$
$K_{TOTAL} = \sum K_{accesorios} + K_{válvulas}$, $K_{TOTAL} = 5.225$			
Pérdida de energía	Gravedad	K_{TOTAL}	Velocidad
$h_{Lm} = k \frac{v^2}{2g}$	9.81 m/s ²	5.225	7.29 m/s
$h_{Lm} = 14.167$ m			

Tabla 20. Pérdidas mayores de energía en la descarga (tubería de $\phi_i = 2$ plg)

Numero de Reynolds	Rugosidad relativa	Factor para fricción en flujo turbulento	Longitud de la corriente del flujo
$N_R = \frac{v \phi_i}{\nu}$	$\frac{\phi}{\varepsilon}$	$f = \frac{0.25}{\left[\log \left(\frac{1}{3.7 \left(\frac{\phi}{\varepsilon} \right)} + \frac{5.74}{N_R^{0.9}} \right) \right]^2}$	L “longitud de la tubería”
$N_R = \frac{634}{755}$	$\frac{\phi}{\varepsilon} = 169\,333$	$f = 0.013$	$L = 125.24$ m
Diámetro interior	Velocidad promedio	Gravedad	Pérdida de energía
$\phi_i = 0.0508$ m	$v = 7.29$ m/s	$g = 9.81$ m/s ²	$h_{LM} = f \frac{L}{\phi_i} \frac{v^2}{2g}$
$h_{LM} = 86.9$ m			

Fuente: Joao Sebastian Salas Quelal

Tabla 21. Pérdidas menores de energía en la descarga (tubería de $\phi_i = 1 \frac{1}{2}$ plg)

Válvula o Accesorio	Coefficiente de resistencia $K = \frac{L_e}{\phi} f_T$	Factor de fricción f_T	Resultado $K = \frac{L_e}{\phi} f_T$
Válvula de bola	$K = 150 f_T$	0.021	$K = 3.15$
Codo de 45°	$(K = 16 f_T) 2$	0.021	$K = 0.672$
$K_{TOTAL} = \sum K_{accesorios} + K_{válvulas} , K_{TOTAL} = 3.822$			
Pérdida de energía	Gravedad	K_{TOTAL}	Velocidad
$h_{Lm} = k \frac{v^2}{2g}$	9.81 m/s ²	3.882	12.97 m/s
$h_{Lm} = 32.77 \text{ m}$			

Tabla 22. Pérdidas mayores de energía en la descarga (tubería de $\phi_i = 1 \frac{1}{2}$ plg)

Numero de Reynolds	Rugosidad relativa	Factor para fricción en flujo turbulento	Longitud de la corriente del flujo
$N_R = \frac{v \phi_i}{\nu}$	$\frac{\phi}{\epsilon}$	$f = \frac{0.25}{\left[\log \left(\frac{1}{3.7 \left(\frac{\phi}{\epsilon} \right) + \frac{5.74}{N_R^{0.9}}} \right) \right]^2}$	L “longitud de la tubería”
$N_R = 212\,346$	$\frac{\phi}{\epsilon} = 127\,000$	$f = 0.012$	$L = 40.81 \text{ m}$
Diámetro interior	Velocidad promedio	Gravedad	Pérdida de energía
$\phi_i = 0.0381 \text{ m}$	$v = 12.97 \text{ m/s}$	$g = 9.81 \text{ m/s}^2$	$h_{LM} = f \frac{L}{\phi_i} \frac{v^2}{2g}$
$h_{LM} = 34.82 \text{ m}$			

Fuente: Joao Sebastian Salas Quelal

Tabla 23. Pérdidas menores de energía en la descarga (tubería de $\phi_i = 1 \frac{1}{2}$ plg, Q_2)

Válvula o Accesorio	Coefficiente de resistencia $K = \frac{L_e}{\phi} f_T$	Factor de fricción f_T	Resultado $K = \frac{L_e}{\phi} f_T$
TEE reductora 1 $\frac{1}{2}$ - 1 plg	$K = 60 f_T$	0.021	$K = 1.26$
$K_{TOTAL} = \sum K_{accesorios} + K_{válvulas}$, $K_{TOTAL} = 1.26$			
Pérdida de energía	Gravedad	K_{TOTAL}	Velocidad
$h_{Lm} = k \frac{v^2}{2g}$	9.81 m/s ²	1.26	7 m/s
$h_{Lm} = 3.15 \text{ m}$			

Tabla 24. Pérdidas mayores de energía en la descarga (tubería de $\phi_i = 1 \frac{1}{2}$ plg, Q_2)

Numero de Reynolds	Rugosidad relativa	Factor para fricción en flujo turbulento	Longitud de la corriente del flujo
$N_R = \frac{v \phi_i}{\nu}$	$\frac{\phi}{\epsilon}$	$f = \frac{0.25}{\left[\log \left(\frac{1}{3.7 \left(\frac{\phi}{\epsilon} \right)} + \frac{5.74}{N_R^{0.9}} \right) \right]^2}$	L “longitud de la tubería”
$N_R = 203\,899$	$\frac{\phi}{\epsilon} = 127\,00$	$f = 0.016$	$L = 22.58 \text{ m}$
Diámetro interior	Velocidad promedio	Gravedad	Pérdida de energía
$\phi_i = 0.0381 \text{ m}$	$v = 7 \text{ m/s}$	$g = 9.81 \text{ m/s}^2$	$h_{LM} = f \frac{L}{\phi_i} \frac{v^2}{2g}$
$h_{LM} = 23.7 \text{ m}$			

Fuente: Joao Sebastian Salas Quelal

Tabla 25. Pérdidas menores de energía en la descarga (tubería de $\phi_i = 1$ plg, Q_2)

Válvula o Accesorio	Coefficiente de resistencia $K = \frac{L_e}{\phi} f_T$	Factor de fricción f_T	Resultado $K = \frac{L_e}{\phi} f_T$
TEE reductora 1 1/2 - 1 plg	$K = 60 f_T$	0.023	$K = 1.38$
$K_{TOTAL} = \sum K_{accesorios} + K_{válvulas} , K_{TOTAL} = 1.38$			
Pérdida de energía	Gravedad	K_{TOTAL}	Velocidad
$h_{Lm} = k \frac{v^2}{2g}$	9.81 m/s ²	1.38	15.82 m/s
$h_{Lm} = 17.6 \text{ m}$			

Tabla 26. Pérdidas mayores de energía en la descarga (tubería de $\phi_i = 1$ plg, Q_2)

Numero de Reynolds	Rugosidad relativa	Factor para fricción en flujo turbulento	Longitud de la corriente del flujo
$N_R = \frac{v \phi_i}{\nu}$	$\frac{\phi}{\epsilon}$	$f = \frac{0.25}{\left[\log \left(\frac{1}{3.7 \left(\frac{\phi}{\epsilon} \right) + \frac{5.74}{N_R^{0.9}}} \right) \right]^2}$	L “longitud de la tubería”
$N_R = 307\,169$	$\frac{\phi}{\epsilon} = 84\,666.7$	$f = 0.014$	$L = 8.7 \text{ m}$
Diámetro interior	Velocidad promedio	Gravedad	Pérdida de energía
$\phi_i = 0.0254 \text{ m}$	$v = 15.82 \text{ m/s}$	$g = 9.81 \text{ m/s}^2$	$h_{LM} = f \frac{L}{\phi_i} \frac{v^2}{2g}$
$h_{LM} = 61.2 \text{ m}$			

Fuente: Joao Sebastian Salas Quelal

3.4.3 Pérdida total de energía en el sistema

La pérdida total de energía en el sistema corresponde a la suma de todas las pérdidas calculadas en la succión y descarga del sistema.

$$h_L = \sum h_{Lm} + h_{LM}$$

$$h_L = 5.71 \text{ m} + 0.5 \text{ m} + 4.8 \text{ m} + 0.56 \text{ m} + 14.167 \text{ m} + 86.9 \text{ m} + 32.77 \text{ m} + 34.82 \text{ m} + 3.15 \text{ m} + 23.7 \text{ m} + 17.6 \text{ m} + 61.2 \text{ m}$$

$$h_L = 285.34 \text{ m}$$

3.4.4 Consideraciones de diseño en sistemas de riego estacionarios

La energía aportada al sistema h_A , es uno de los principales factores que se debe determinar con minuciosidad para la selección de la turbomáquina que cumpla con los requerimientos del sistema. Por ejemplo, en los sistemas de flujo de fluidos que requieren en su aplicación la elevación de un fluido desde su almacenamiento hasta la cima de un edificio, la energía aportada al sistema es el principal elemento que garantiza el funcionamiento. En este caso, la energía aportada al sistema debe vencer todas las pérdidas de energía h_L ocasionadas por los accesorios y resistencias hidráulicas que se ejercen sobre el sistema.

En sistemas de flujo de fluidos en los cuales su aplicación requiere el recorrido del fluido sobre un plano inferior al del nivel en donde se aloja la turbomáquina, las pérdidas de energía en el sistema disminuyen su influencia a tal punto que, su apreciación decrece al 10 % de la pérdida de energía total. Solo en estos casos los parámetros que garantizan el pleno funcionamiento del sistema son: la presión y caudal de trabajo.

El diseño de este sistema de riego por aspersión favorece a la consideración de apreciar sólo el 10 % de la pérdida total de energía, y los parámetros fundamentales que garantizarán el pleno funcionamiento del sistema son:

- Presión máxima de funcionamiento de los emisores, $P_d = 6 \text{ [bar]}$
- Caudal de diseño, $Q_d = 887.6 \text{ [l/min]}$

De esta forma, la bomba a elegir debe cubrir estos dos requerimientos de diseño para el óptimo funcionamiento del sistema, y la pérdida total de energía adoptaría la siguiente magnitud:

$$h_{L(10\%)} = 28.5 \text{ m}$$

3.4.5 Aporte de energía al sistema

Una vez determinados todos los elementos que forman parte del cálculo de la ecuación general de energía, esta adquirió la siguiente expresión matemática:

$$h_A = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + h_L - z_1$$

Al sustituir los datos determinados en la ecuación general de la energía, se obtiene el aporte de energía al sistema:

$$h_A = \frac{600 \text{ kPa}}{9.81 \text{ kN}} + \frac{\left(12.97 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 \left(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right)} + 28.5 \text{ m} - 0.5 \text{ m}$$

$$h_A = 97.7 \text{ m}$$

3.4.6 Potencia de requerimiento por la bomba

Haciendo uso de la ecuación (16) se obtiene la potencia que la bomba requiere:

$$Pot = h_A Q \gamma$$

$$Pot = (97.7 \text{ m}) \left(14.794 \times 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}\right) \left(9.81 \times 10^{-3} \frac{\text{N}}{\text{m}^3}\right)$$

$$Pot = 12\,262.2 \text{ W}$$

$$Pot_{HP} = 16.4 \text{ HP}$$

3.4.7 Punto de diseño

El punto de diseño expone los factores ideales a los cuales el sistema funcionará una vez instalado, estos a su vez deben ser sustentados por una o varias turbomáquinas que garanticen la aplicación del diseño establecido. Con esta aclaración, el punto de diseño de este sistema se comprende por:

- Presión máxima de funcionamiento de los emisores, $P_d = 6 \text{ [bar]}$
- Caudal de diseño, $Q_d = 887.6 \text{ [l/min]}$

En función de estos parámetros se obtiene la curva del sistema.

3.4.8 Curva del sistema

La curva del sistema presenta la carga total sobre la bomba h_A , versus la capacidad o descarga Q (flujo volumétrico) [30]; como se mencionó anteriormente, la aplicación de este sistema difiere con un parámetro, de tal forma que, la curva de este sistema requiere la presión máxima $P_{m\acute{a}x}$ que la bomba debe proporcionar al sistema versus la capacidad de descarga $Q_{dise\tilde{n}o}$, como sigue:

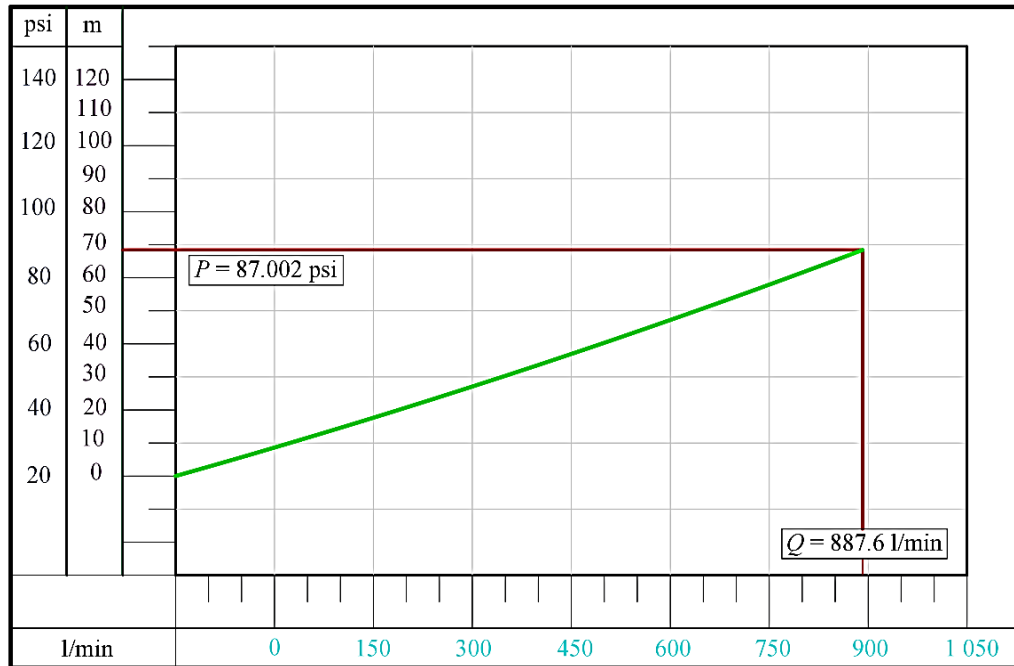


Figura 34. Curva del sistema
Fuente: Joao Sebastian Salas Quelal

A partir de estos indicadores se seleccionará el equipo de bombeo que satisfaga con los requerimientos de esta aplicación.

3.5 Selección del equipo de bombeo

El grupo bombeo debe ser capaz de satisfacer la máxima demanda de caudal requerido y presión de trabajo. A continuación se presenta curvas de rendimiento de tres diferentes bombas centrífugas de alta presión que pertenecen al fabricante Barnes de Colombia S.A., a partir de la cuales se seleccionará la bomba que cumpla con la aplicación de diseño, optimice la funcionalidad y economía del sistema.

- Bomba de alta presión Barnes: KE 3 150

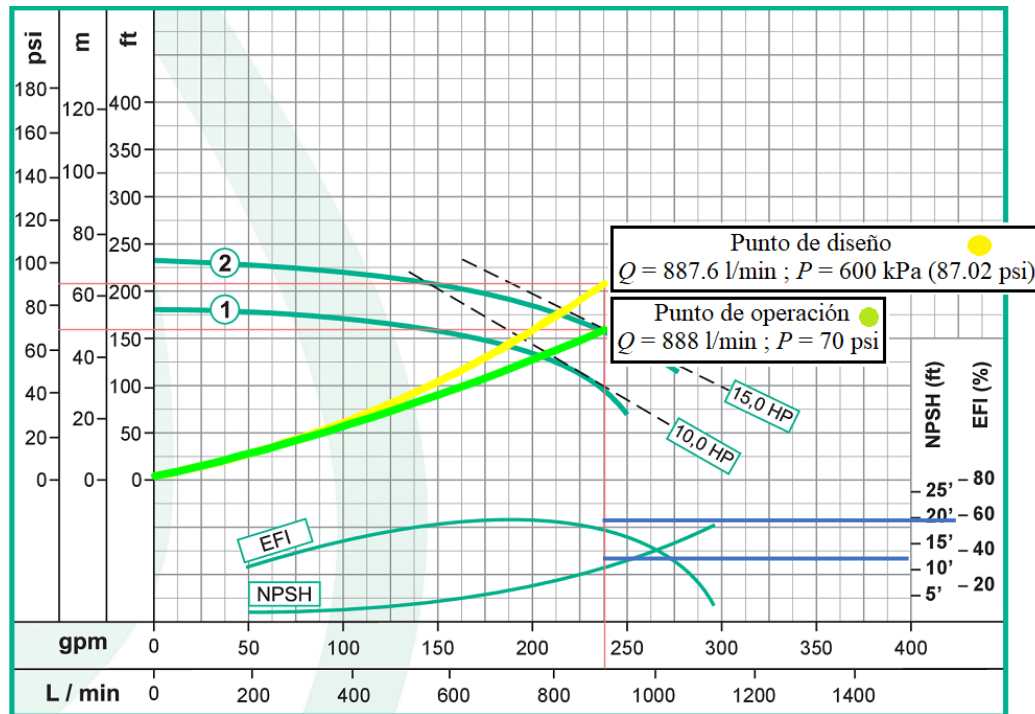


Figura 35. Curva de rendimiento: Bomba Barnes KE 3 150 [36]

Como se puede observar en la Figura 35, la curva de rendimiento de la bomba KE 3 150 (15,0 HP) no alcanza la presión requerida por la curva del sistema, pero si cumple con la demanda de caudal de diseño. Para que la bomba KE 3 150 alcance el punto de diseño necesita un aporte de al menos 17 psi, lo cual se consigue con la instalación de un tanque hidroneumático.

Un tanque hidroneumático es un equipo que permite mantener la presión constante en una red de distribución de agua, al mismo tiempo puede aportar al sistema un rango de presión del 30% de la presión de operación, manteniendo la demanda de caudal en la magnitud requerida de diseño.

Son comúnmente usados en sistemas de aspersión y reducen ampliamente los arranques del motor de la bomba. La elasticidad del aire hace que los tanques hidroneumáticos aporten una cantidad considerable de energía al sistema, alargan la vida útil de la turbomáquina y no requieren de una programación estricta de mantenimiento sistemático.

- Bomba de alta presión Barnes: KE 3 200 y KE 3 250

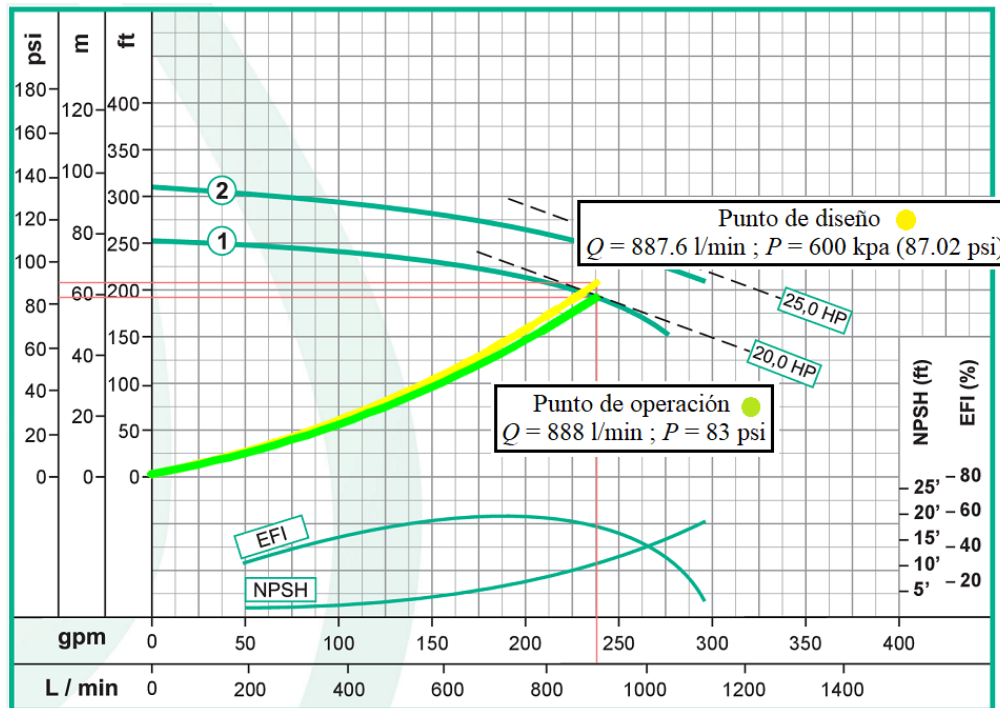


Figura 36. Curvas de rendimiento: Bombas Barnes KE 3 200 y KE 3 250 [37]

La curvas de rendimiento mostradas en la Figura 36 pertenecen a las bombas KE 3 200 (20 HP) y KE 3 250 (25 HP). En el caso de la bomba KE 3 250, se puede observar que el punto de operación de la bomba coincide con el punto de diseño, mientras que en la curva de rendimiento de la bomba KE 3 200 cumple con el caudal de diseño pero existe un déficit de presión de unos 4 psi. Para respaldar la presión de la bomba KE 3 200 se realiza el mismo procedimiento que en el caso presentado para la bomba KE 3 150.

3.5.1 Análisis de alternativas

El equipo de bombeo que se seleccione para el diseño del sistema propuesto en este proyecto debe garantizar su pleno funcionamiento técnico en base a todos los cálculos realizados, a su vez, el factor económico debe complementar la concepción global del sistema. De las 3 bombas propuestas por medio de sus curvas de rendimiento, dos necesitan un equipo complementario para cumplir con el requerimiento técnico de diseño, mientras que sólo una cumple de forma ideal con el punto de diseño del sistema. Si a las bombas KE 3 150 y KE 3 200 se les implementa un tanque hidroneumático, alcanzarían el punto de diseño.

Bajo esta aclaración, el factor decisivo en la selección de la bomba que se instalará en el sistema será el costo de la misma. En la Tabla 27 se presentan las características de cada bomba, su costo unitario, el equipo complementario con su respectivo costo, y el costo total del equipo de bombeo adaptado al requerimiento del sistema.

Tabla 27. Análisis técnico – económico de alternativas

Bomba	Pto. de operación	Valor	Complemento	Punto de operación	Costo	Costo total
KE 3 150	$Q = 888 \text{ l/min}$ $P = 70 \text{ psi}$	\$1,606.67	Hidroneumático EVANS 480 Lts	$Q = 888 \text{ l/min}$ $P = 88 \text{ psi}$	\$ 658.99	\$2,265.66
KE 3 200	$Q = 888 \text{ l/min}$ $P = 83 \text{ psi}$	\$3,756.93	Hidroneumático EVANS 480 Lts	$Q = 888 \text{ l/min}$ $P = 90 \text{ psi}$	\$ 658.99	\$4,415.92
KE 3 250	$Q = 888 \text{ l/min}$ $P = 88 \text{ psi}$	\$5,608.36	-	-	-	\$5,608.36

Fuente: Joao Sebastian Salas Quelal

Es evidente que el costo del equipo de bombeo constituido por la bomba Barnes KE 3 150 y el tanque hidroneumático EVANS de 480 Lts. es inferior al costo de los dos equipos restantes, de igual forma cumple con la aplicación de diseño y garantiza el óptimo funcionamiento del sistema. Una vez planteado este análisis, el equipo de bombeo que formará parte del sistema de riego estacionario por aspersión son: la bomba Barnes KE 3 150 y el tanque hidroneumático EVANS de 480 Lts.

En el Anexo 7 se indica la ficha técnica de la bomba Barnes KE 3 150 y del tanque hidroneumático EVANS. De acuerdo con las recomendaciones técnicas de la bomba, se puede comprobar que los parámetros y características de diseño propuestos en este sistema se encuentran dentro de los límites recomendados de funcionamiento establecidos por el fabricante de la bomba.

3.6 Carga de succión neta positiva disponible

Por medio del cálculo de la carga de succión neta positiva $NPSH_d$, se puede determinar si existirá o no cavitación en la bomba seleccionada.

3.6.1 Carga de presión de vapor

Haciendo uso de ecuación (17) se determina la carga de presión de vapor.

$$h_{vp} = \frac{P_{vp}}{\gamma}$$
$$h_{vp} = \frac{1\,402.78\text{ Pa}}{9.81 \times 10^3\text{ N}}$$
$$h_{vp} = 0.14\text{ m}$$

3.6.2 Carga de presión estática absoluta

En la Figura 32 se puede notar que la presión manométrica en el punto 2 de referencia es igual a la presión de diseño $P_{diseño} = 600\text{ kPa}$, no obstante, la instalación del tanque hidroneumático garantiza el cumplimiento de la misma. Con esta observación y haciendo uso de las ecuaciones (18) y (19) se determina la carga de presión estática absoluta.

$$h_{sp} = \frac{P_{sp}}{\gamma} = \frac{P_{man} + P_{atm}}{\gamma}$$
$$h_{sp} = \frac{600 \times 10^3\text{ Pa} + 76\,479.4\text{ Pa}}{9.81 \times 10^3\text{ N}}$$
$$h_{sp} = 68.96\text{ m}$$

3.6.3 Diferencia de elevación

$$h_s = -0.66\text{ m}$$

3.6.4 Pérdida de carga en la tubería de succión

Representa las pérdidas menores y mayores de energía en la tubería de succión.

$$h_f = h_{Lm} + h_{LM}$$
$$h_f = 5.71\text{ m} + 0.5\text{ m}$$

$$h_f = 6.21 \text{ m}$$

Una vez determinados todos los factores que intervienen en el cálculo de la carga de succión neta positiva, empleando la ecuación (20) se obtiene la $NPSH_d$.

$$NPSH_d = h_{sp} - h_s - h_{vp} - h_f$$

$$NPSH_d = 68.96 \text{ m} - 0.66 \text{ m} - 0.14 \text{ m} - 6.21 \text{ m}$$

$$NPSH_d = 61.95 \text{ m}$$

3.6.5 Carga de succión neta positiva requerida

La magnitud obtenida de $NPSH_d$, representa la intervención del tanque hidroneumático en el sistema. Se puede concluir que, el equipo de bombeo seleccionado no sólo representa una ventaja económica, también garantiza que a la bomba no le sucederá el fenómeno de cavitación. Interpretando la curva de rendimiento expuesta en la Figura 35 se obtiene el valor de la $NPSH_r$:

$$NPSH_r = 11.6 \text{ pie} = 3.54 \text{ m}$$

Haciendo uso de la ecuación (21) se verifica analíticamente la existencia del fenómeno de cavitación.

$$NPSH_d > 1.5 \times NPSH_r$$

$$61.95 \text{ m} > 1.5 \times 3.54 \text{ m}$$

$$61.95 \text{ m} > 5.31 \text{ m}$$

Por lo tanto, no existirá cavitación en la bomba seleccionada. Cabe recalcar que la intervención del tanque hidroneumático aporta significativamente a la idoneidad del diseño propuesto. En el Plano 4 se presenta esquemáticamente la instalación del equipo de bombeo elegido para el sistema propuesto en este proyecto.

3.7 Diseño hídrico

Como se mencionó en la metodología de selección y diseño del sistema de riego, el balance hídrico y necesidades de agua por suelo y cultivo se determinará en función de recomendaciones técnicas sobre el cuidado y mantenimiento del césped Kikuyo.

3.7.1 Necesidades de agua por suelo y cultivo

En condiciones meteorológicas de altas temperaturas y ausencia de lluvia, el suelo de tapiz vegetal formado por césped Kikuyo debe mantener una humedad de 10 litros por cada metro cuadrado, esto se logra únicamente por medio de un sistema de riego por aspersión. Al proporcionar una lámina de 10 l/m^2 equivalente a $0.01 \text{ m}^3/\text{m}^2$ se abastece las necesidades hídricas del suelo y césped Kikuyo [24] [38], el tiempo de riego que demanda cubrir esta cantidad está en función del caudal de descarga de cada ramal dentro del campo de juego y del área del mismo.

Adaptando este factor dentro de las ecuaciones (22) y (23) se obtiene el diseño hídrico del campo de juego, el mismo que se logra gracias a las características de diseño del sistema propuesto. En el Plano 1 se presenta el dimensionamiento (espaciamiento entre aspersores y laterales) de la configuración del sistema, y en el Plano 2 se instala los aspersores seleccionados que cumplen con la configuración del sistema. A partir de estos dos planos podemos obtener el área del campo de juego en diferentes secciones:

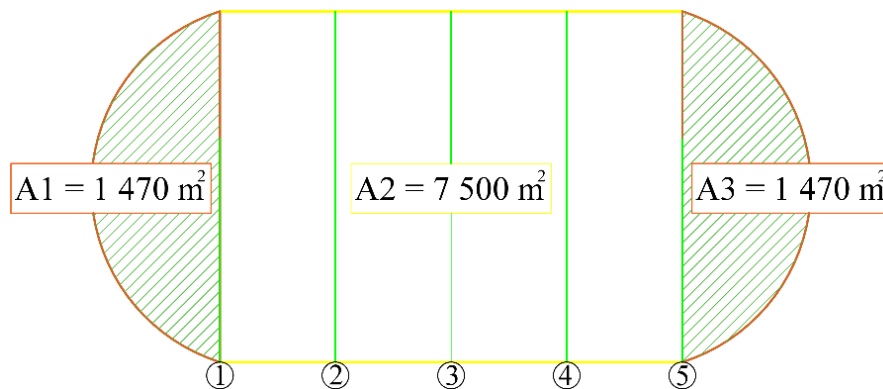


Figura 37. Área seccionada del campo de juego

Fuente: Joao Sebastian Salas Quelal

Se puede observar que las áreas de los extremos son simétricas, y el caudal que dispone cada una corresponde al ramal 1 y 5 respectivamente. El área intermedia representa la mayor superficie del campo de juego y abarca el caudal de los ramales 2, 3 y 4. Aplicando la relación de $0.01 \text{ m}^3/\text{m}^2$ en cada segmento del campo de juego se tiene:

3.7.2 Diseño hídrico en el segmento A1

- Área = 1 470 m²
- Caudal = $\sum Q_a$ de los aspersores en el ramal

$$2Q_a(I - 90_{\text{azul oscuro}}) + 2Q_a(I - 90_{\text{verde oscuro}}) + Q_a(I - 40_{\text{verde oscuro}})$$

$$Q_{\text{ramal } 1} = 53.26 \text{ m}^3/\text{h}$$

- Relación de dosis 0.01 m³/m²

$$Q_{\text{ramal } 1} \rightarrow A_{\text{ramal } 1}$$

$$Ds_{\text{ramal } 1} [\text{m}^3/\text{h}] \rightarrow \text{Cada m}^2$$

$$53.26 \text{ m}^3/\text{h} \rightarrow 1\,470 \text{ m}^2$$

$$Ds_{\text{ramal } 1} [\text{m}^3/\text{h}] \rightarrow \text{Cada m}^2$$

$$Ds_{\text{ramal } 1} = 0.04 [\text{m}^3/\text{h}]\text{m}^2$$

- Tiempo de riego en efectuar la lámina de 0.01 m³/m² en 1 hora

$$Ds_{\text{ramal } 1} [\text{m}^3]\text{m}^2 \rightarrow 1 \text{ h}$$

$$0.01 [\text{m}^3/\text{m}^2] \rightarrow t_i [\text{h}]$$

$$0.04 [\text{m}^3]\text{m}^2 \rightarrow 1 \text{ h}$$

$$0.01 [\text{m}^3/\text{m}^2] \rightarrow t_i [\text{h}]$$

$$t_i [\text{h}] = 0.25 \text{ h}$$

$$t_i [\text{min}] = 15 \text{ min}$$

El diseño hídrico en el segmento A3 es igual al del segmento A1, pues ambos son simétricos y presentan las mismas particularidades de ramal.

3.7.3 Diseño hídrico en el segmento A2

- Área = 7 500 m²
- Caudal = $\sum Q_a$ de los aspersores en el ramal

$$12Q_a(I - 90_{\text{azul oscuro}})$$

$$Q_{ramal\ 2-3-4} = 155.88\ m^3/h$$

- Relación de dosis $0.01\ m^3/m^2$

$$Q_{ramal\ 2-3-4} \rightarrow A_{ramal\ 2-3-4}$$

$$Ds_{ramal\ 2-3-4}[m^3/h] \rightarrow \text{Cada } m^2$$

$$155.88\ m^3/h \rightarrow 7\ 500\ m^2$$

$$Ds_{ramal\ 2-3-4}[m^3/h] \rightarrow \text{Cada } m^2$$

$$Ds_{ramal\ 2-3-4} = 0.02\ [m^3/h]m^2$$

- Tiempo de riego en efectuar la lámina de $0.01\ m^3/m^2$ en 1 hora

$$Ds_{ramal\ 2-3-4}[m^3]m^2 \rightarrow 1\ h$$

$$0.01\ [m^3/m^2] \rightarrow t_i\ [h]$$

$$0.02\ [m^3]m^2 \rightarrow 1\ h$$

$$0.01\ [m^3/m^2] \rightarrow t_i\ [h]$$

$$t_i\ [h] = 0.5\ h$$

$$t_i\ [min] = 30\ min$$

El tiempo equivalente a 30 min es lo que tardarán los ramales 2, 3 y 4 en regar el segmento de $7500\ m^2$ al mismo tiempo, y de forma individual se tiene:

$$t_i\ [min] = 10\ min\ \text{por cada ramal}$$

3.8 Manual de operación y mantenimiento

El manual de operación y mantenimiento del sistema se encuentra en el Anexo 9.

CAPITULO IV

ANÁLISIS TÉCNICO - ECONÓMICO DEL PROYECTO

En este capítulo se detalla por medio de un análisis técnico - económico todos los costos que intervienen en la concepción e instalación del sistema de riego estacionario por aspersión propuesto en este proyecto de titulación. Mediante una evaluación cuantitativa se expone la viabilidad del diseño desarrollado.

4.1 Estimación de costos

La estimación de costos es un sistema de información empleado para predeterminar, registrar, controlar, analizar, direccionar, interpretar e informar todo lo relacionado con los costos de producción de un bien o servicio [39]. Además, es un proceso mediante el cual se pronostican las consecuencias presentes y futuras de los diseños de ingeniería [40]. Los resultados de la estimación de costos sirven para diferentes propósitos, entre estos se tiene [40]:

- Proporcionar información útil para fijar un precio de venta
- Determinar si el producto o servicio que se propone fabricar y distribuir implica una utilidad
- Evaluar cuánto capital puede justificarse para cambiar procesos o realizar otras mejoras, entre otros [40]

4.2 Conceptualización y clasificación de los costos del proyecto

Al empezar un análisis económico, la familiarización con los conceptos es fundamental para el correcto desarrollo del mismo. Cuando se piensa en el costo, invariablemente se piensa en este dentro del contexto de identificar el costo de algo en particular, a esto se le conoce como objeto de costos, que es cualquier cosa para la cual se desea una medición de costos [41].

4.2.1 Costo

Según García Colín Juan [39], se considera costo al valor monetario de los recursos que se entregan o prometen entregar a cambio de bienes o servicios que se adquieren.

4.2.2 Costos directos

Son aquellos costos que se pueden identificar o cuantificar plenamente con los productos terminados [39]. Explica Sullivan William [40], pueden medirse en forma directa y razonable, y asignarse a una actividad productiva o de trabajo específica. Entre estos se tiene:

- Materiales: pueden ser transformados mediante diferentes procesos de manufactura o mecanizado
- Insumos: elementos que se instalan directamente en el sistema; no necesitan previo proceso de manufactura o mecanizado
- Mano de obra: valor monetario entregado en cada hora de esfuerzo humano.
- Equipos y maquinaria

Con esta explicación, los costos directos del proyecto son:

Tabla 28. Costo de materiales

Cantidad	Unidad	Descripción	Valor unitario	Valor total
1	m	Tubo HG NIC 505-001 3 plg x 6 m	\$ 112.46	\$ 112.46
22	m	Tubo PVC 2plgx1.25 Mpa x6m	\$ 16.98	\$ 373.56
56	m	Tubo PVC1 ½ plgx1.25 Mpa x 6m	\$ 11.04	\$ 618.24
3	m	Tubo PVC1 plgx1.6 Mpa x 6 m	\$ 7.76	\$ 23.28
			Subtotal	\$ 1,127.54
			IVA % 12	\$ 135.30
			Total	\$ 1,262.84

Fuente: Joao Sebastian Salas Quelal

Tabla 29. Costo de insumos

Cantidad	Unidad	Descripción	Valor unitario	Valor total
1	U	Válvula de pie 3 plg	\$ 125.26	\$ 125.26
2	U	Válvula de compuerta 3 plg	\$ 17.00	\$ 34.00
1	U	Válvula check 3 plg	\$ 102.50	\$ 102.50
1	U	Válvula antirretorno 3plg	\$ 102.20	\$ 102.20
1	U	Manómetro de glicerina	\$ 76.84	\$ 76.84
1	U	Switch de presión	\$ 65.48	\$ 65.48
3	U	Codo HG 90° x 3 plg	\$ 28.59	\$ 85.77
1	U	Reductor 3 x 2 plg M-H PVC (pegable)	\$ 2.63	\$ 2.63
4	U	TEE Reductora PVC 2 x 1 ½ x 2 plg (pegable)	\$ 3.56	\$ 14.24
1	U	Codo PVC 2 plg x 90° (pegable)	\$ 3.15	\$ 3.15
5	U	Válvula de bola PVC 1 ½ plg rosca hembra BSP 1 universal	\$ 18.90	\$ 94.50
2	U	Codo PVC 1 ½ plg x 45° (pegable)	\$ 2.40	\$ 4.80
1	U	Reductor 2 x 1 ½ plg M-H PVC (pegable)	\$ 1.20	\$ 1.20
2	U	TEE Reductora PVC 1 ½ x 1 x 1 ½ plg (pegable)	\$ 2.52	\$ 5.04
4	U	Tapón 1 ½ plg PVC hembra (pegable)	\$ 1.49	\$ 5.96
2	U	Tapón 1 plg PVC hembra (pegable)	\$ 0.91	\$ 1.82
16	U	Aspersor hunter I-90 tobera azul oscura	\$ 85.00	\$ 1,360.00
4	U	Aspersor hunter I-90 tobera verde oscura	\$ 81.20	\$ 324.80
2	U	Aspersor hunter I-40 tobera verde oscura	\$ 70.00	\$ 140.00
20	U	Conexión 1 ½ plg BSP aspersor Hunter I-90	\$ 4.00	\$ 80.00

2	U	Conexión 1 plg BSP aspersor Hunter I-40	\$ 3.60	\$ 7.20
10	U	Adaptador PVC 1 ½ macho BSP AM3	\$ 1.94	\$ 19.40
1	U	Electrobomba Barnes KE 3 150	\$ 1,606.67	\$ 1,606.67
1	U	Caja de arranque 15 HP	\$ 583.69	\$ 583.69
1	U	Tanque hidroneumático EVAN 480 Lts	\$ 658.99	\$ 658.99
Subtotal				\$ 5,506.14
IVA % 12				\$ 660.74
Total				\$ 6,166.88

Tabla 30. Costo de mano de obra

Tiempo [hora]	Descripción	Valor [hora]	Valor total
2	Retroexcavadora	\$ 25.00	\$ 50.00
6	Plomería	\$ 8.00	\$ 48.00
Subtotal			\$ 98.00
IVA % 12			\$ 11.76
Total			\$ 109.76

Tabla 31. Total de costos directos

Descripción	Costo
Materiales	\$ 1,262.84
Insumos	\$ 6,166.88
Mano de obra y maquinaria	\$ 109.76
Total	\$ 7,539.48

Fuente: Joao Sebastian Salas Quelal

4.2.3 Costos indirectos

De acuerdo con García Colín Juan [39], son aquellos costos que no se pueden identificar o cuantificar plenamente con los productos terminados o áreas de procesado específicas. Según Sullivan William [40], los costos indirectos son aquellos que es difícil atribuir o asignar a una actividad productiva o laboral específica. Entre estos se tiene:

- Materiales indirectos: son aquellos involucrados en la elaboración de un producto, pero no son materiales directos [42]
- Eventos imprevistos: sucesos no programados que se pueden generar o no durante la implementación del sistema. Su cuantificación económica se cubrirá con el 5% de los costos directos
- Costo de ingeniería: valoración económica por parte del autor intelectual del proyecto

Bajo estas aclaraciones se presenta los costos indirectos del proyecto:

Tabla 32. Materiales indirectos

Cantidad	Unidad	Descripción	Valor unitario	Valor total
3	U	Limpiador C-64 1/4 galón WELD - ON IPS	\$ 16.98	\$ 50.94
3	U	Pega AMERICANA 705 1/4 galón WELD - ON IPS	\$ 21.15	\$ 63.45
5	U	Teflón amarillo industrial ALEMÁN	\$ 1.85	\$ 9.25
1	U	Accesorios complementarios	\$ 150.00	\$ 150.00
			Subtotal	\$ 273.64
			IVA % 12	\$ 32.84
			Total	\$ 306.48

Tabla 33. Eventos imprevistos

Descripción	Costo	Valor total
Eventos imprevistos	5% (Costo directo total)	\$ 376.97

Tabla 34. Costo de ingeniería

Descripción	Costo
Valoración económica de autoría	\$ 300.00

Fuente: Joao Sebastian Salas Quelal

Tabla 35. Total costos directos

Descripción	Costo
Materiales indirectos	\$ 306.48
Eventos imprevistos	\$ 376.97
Valoración económica de autoría	\$ 300.00
Total	\$ 983.45

4.2.4 Costo total del sistema

Luego de haber expuesto todas las consideraciones económicas del proyecto subdivididas por análisis de costos, el costo total para la implementación del sistema riego estacionario por aspersión desarrollado en este proyecto de titulación, es la suma de los costos directos e indirectos. En el Anexo 11 se indica la información de los proveedores en donde se realizó la cotización de todos los elementos del sistema.

Tabla 36. Costo total del sistema

Descripción	Valor
Costos directos	\$ 7,539.48
Costos indirectos	\$ 983.45
Total	\$ 8,522.93

Fuente: Joao Sebastian Salas Quelal

4.3 Análisis de diseño

En el diagnóstico de campo realizado al sistema de riego actual del Estadio Rafael Cabrera se extrajo los datos más relevantes acerca de su funcionamiento, operación y utilidad hídrica que el sistema le proporciona al suelo y césped.

A continuación se presenta un análisis cuantitativo en el cual se muestran las características técnicas de ambos sistemas, el actual, y el diseño del sistema propuesto en este proyecto de titulación, con el objetivo de exponer las consideraciones técnicas y económicas más relevantes consiguientes a la implementación de este diseño.

4.3.1 Análisis de tiempo de operación

Para el análisis del tiempo de operación se considera el tiempo en que tarda cada sistema en regar toda la superficie del campo de juego.

- Sistema de riego actual

El cañón dispone de un radio mojado de aproximadamente 20 m, lo que corresponde a un área mojada de 314 m^2 . Para que este emisor cubra toda la superficie del campo de juego que equivale a $10\,440 \text{ m}^2$, el cañón requiere ser desplazado al menos en 33 diferentes posiciones dentro del campo de juego.

El tiempo empleado en la aplicación del riego por una posición es de 15 min aproximadamente, esto quiere decir que, para regar toda la superficie del campo de juego tarda al menos 8 h.

- Sistema de riego estacionario por aspersión propuesto en este proyecto

El diseño de este sistema presenta una configuración que lo constituye por 5 ramales: ramales 1 y 5, y ramales 2, 3 y 4, simétricos respectivamente. El tiempo que tarda en regar el ramal 1 es el mismo para el ramal 5, y equivale a 15 min por cada uno, es decir, 30 min por los dos.

De igual forma, el tiempo que tarda en regar el ramal 2 es el mismo para los ramales 3 y 4, que equivale a 10 min por cada uno o 30 min por los 3 ramales. De esta forma, el diseño propuesto en este proyecto tarda apenas 1 h en regar toda la superficie del campo de juego.

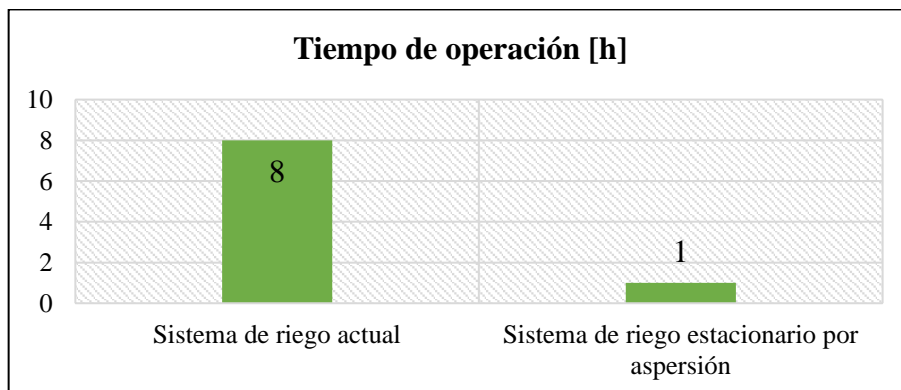


Figura 38. Análisis de tiempo de operación

Fuente: Joao Sebastian Salas Quelal

4.3.2 Análisis de consumo de caudal

El consumo de caudal se refiere a la cantidad de agua que el sistema transfiere al campo de juego en un tiempo determinado.

- Sistema de riego actual

La cantidad de agua que transfiere el sistema de riego actual al campo de juego en 8 h de irrigación es de aproximadamente 60 m^3 , misma cantidad que cubre toda la superficie del campo realizando los desplazamientos necesarios del cañón.

- Sistema de riego estacionario por aspersión propuesto en este proyecto

El diseño hidráulico e hídrico de este proyecto establece el caudal y tiempo de irrigación de cada ramal, globalizando estos dos parámetros, este sistema transfiere un total de 53.2 m^3 en 1 h de irrigación.

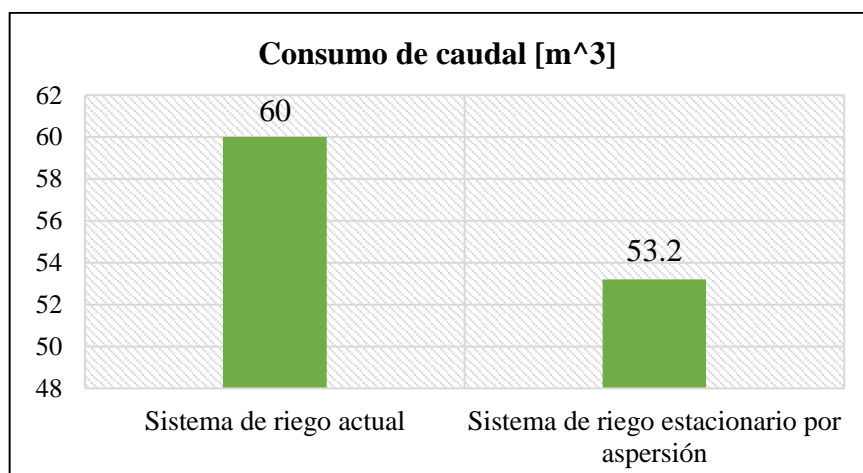


Figura 39. Análisis de consumo de caudal
Fuente: Joao Sebastian Salas Quelal

4.3.3 Análisis de eficiencia del emisor

La eficiencia de cada emisor está dada de forma porcentual por su fabricante, y en forma general, los diferentes tipos de emisores para riego por aspersión presentan la eficiencia de acuerdo a sus particularidades de aprovechamiento hídrico. La escorrentía, evaporación, infiltración, pluviometría y elasticidad a superficies irregulares cuantifican cuan eficiente es un emisor para una aplicación determinada de irrigación.

- Sistema de riego actual

El sistema de riego actual del Estadio Rafael Cabrera cuenta con un solo emisor tipo cañón, el cual presenta una eficiencia de un 62% debido a la generación de escorrentía producida por la magnitud de caudal que emite y al tipo de chorro que genera la boquilla del cañón.

- Sistema de riego estacionario por aspersión propuesto en este proyecto

Los aspersores Hunter seleccionados en la configuración de este proyecto son diseñados específicamente para césped natural, parques, instalaciones deportivas y espacios públicos. Dentro del riego profesional la eficiencia y eficacia definen al aspersor hunter como el emisor ideal para el riego en campos deportivos, calificándolo con un 91% de eficiencia en la aplicación de irrigación.

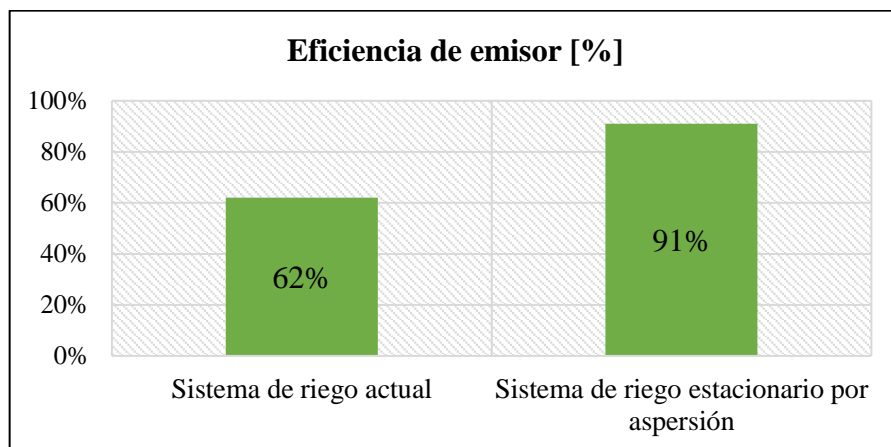


Figura 40. Análisis de eficiencia del emisor
Fuente: Joao Sebastian Salas Quelal

4.3.4 Análisis de producción de escorrentía superficial

La escorrentía superficial es la precipitación que no se infiltra en ningún momento de la aplicación del riego, adopta la forma de una lámina de agua que se desliza sobre la superficie del terreno por acción de la gravedad [9]. Esta lámina de agua no logra infiltrarse en el suelo, se desvanece por efecto de la evaporación y el deslizamiento por gravedad genera agrietamientos en la superficie del terreno.

Por lo tanto, la producción de escorrentía en un sistema de riego por aspersión no es de utilidad hídrica al suelo y cultivo, ocasiona daños por quemadura al césped, agrede al suelo incrementando su salinidad y representa una pérdida representativa

de caudal. La eficiencia de un emisor de riego por aspersión está dada entre sus principales indicadores, por la escorrentía superficial que produce. La escorrentía superficial se puede apreciar al final de la aplicación del riego. El tipo suelo, la densidad del cultivo y la incorrecta selección del sistema de riego producen escorrentía superficial en la aplicación del riego, reduciendo notablemente la eficiencia de todo el sistema como tal.

- Sistema de riego actual

En el diagnóstico de campo realizado al sistema de riego del Estadio Rafael Cabrera, por simple inspección se puede verificar la producción de escorrentía superficial por parte del cañón al momento de la aplicación del riego.



Figura 41. Inspección de escorrentía superficial del sistema actual

Fuente: Joao Sebastian Salas Quelal

La valoración de producción de escorrentía superficial será cuantificada de forma porcentual restando la eficiencia del emisor, así:

$$\text{Producción de escorrentía } \% = 100 \% - \text{eficiencia del emisor}$$

$$\text{Producción de escorrentía } \% = 100 \% - 62 \%$$

$$\text{Producción de escorrentía } \% = 38 \%$$

- Sistema de riego estacionario por aspersión propuesto en este proyecto

Todas las especificaciones técnicas de los aspersores Hunter seleccionados en la configuración de este diseño se encuentran en el Anexo 8, y a partir del análisis de eficiencia del emisor se tiene una producción de escorrentía superficial de:

Producción de escorrentía % = 100 % – eficiencia del emisor

Producción de escorrentía % = 100 % – 91 %

Producción de escorrentía % = 9 %

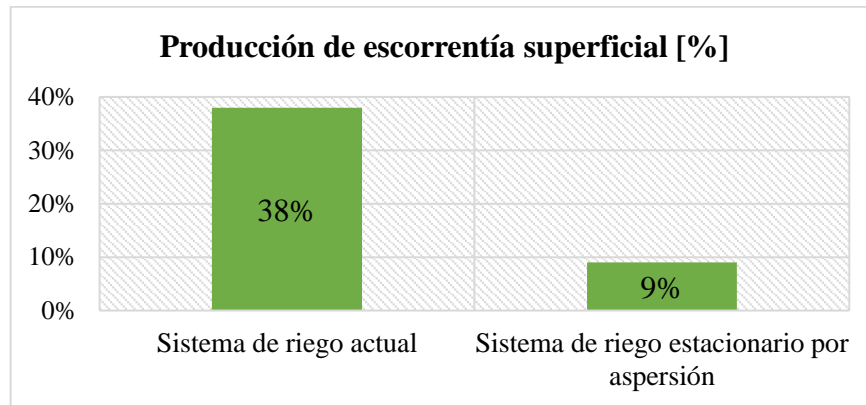


Figura 42. Análisis de producción de escorrentía

Fuente: Joao Sebastian Salas Quelal

4.3.5 Análisis de programación del riego

La programación del riego corresponde al horario recomendado de acuerdo al cuidado y mantenimiento de cada tipo de cultivo, además depende de la estación climática y de los diferentes acontecimientos meteorológicos que se presenten en la zona de estudio. Según Parracia Alejandra [24], el horario recomendado para regar al césped se encuentra dividido en:

- La mañana: 06H00 a 10H00
- La noche: 18H00 en adelante

Regar el césped en los horarios recomendados de su cuidado y mantenimiento optimizan el aprovechamiento hídrico por parte del suelo y cultivo. Generalmente los horarios recomendados de irrigación están propuestos en las horas de menor radiación solar, lo que evita pérdidas de caudal por evaporación, agresiones de quemadura al césped, y en el caso de la noche, previene los daños ocasionados por las heladas.

En función de los tiempos de operación de ambos sistemas se puede establecer cuál de los dos se ajusta al horario recomendado para regar el césped Kikuyo. En la

Figura 44 se ilustra los tiempos de operación de ambos sistemas adaptados a las horas hábiles para regar el Kikuyo:

Hora	SISTEMA ACTUAL	SISTEMA PROPUESTO
24H00		
23H00		
22H00		
21H00		
20H00		
19H00		
18H00		
10H00		
09H00		
08H00		
07H00		
06H00		

Figura 43. Horario recomendado de irrigación
Fuente: Joao Sebastian Salas Quelal

- Sistema de riego actual

Se puede apreciar que este sistema excede el límite establecido para el horario recomendado de la mañana, ya que necesita 8 h de irrigación para cubrir toda la superficie del campo de juego. Por lo tanto, este sistema sólo se ajusta al horario de la noche de acuerdo al cuidado y mantenimiento del césped Kikuyo.

- Sistema de riego estacionario por aspersion propuesto en este proyecto

El diseño hídrico de este sistema estable 1 h para cumplir con la aplicación del riego en toda la superficie del campo de juego, esto quiere decir que, la programación del riego se la puede ejecutar tanto en la mañana como en la noche.

4.3.6 Análisis de costos por operación

Este análisis presenta el costo de operación de cada sistema de riego en función del tiempo de operación, mano obrera, y consumo teórico eléctrico teórico.

- Costo teórico de consumo eléctrico

El Consejo Nacional de la Electricidad (Conelec), presentó el alza de las tarifas eléctricas en USD 0.01 para los consumidores residenciales y USD 0.02 para los clientes comerciales e industriales, por kWh de consumo al mes [43]. De esta forma, en la Tabla 37 se indica el tiempo de operación de ambos sistemas y su costo teórico por consumo de energía eléctrica.

Tabla 37. Costo teórico de consumo eléctrico

Sistema	Tiempo de operación	Potencia de la electrobomba		Precio energía eléctrica	Costo mensual
Sistema actual	96 [h/mes]	5.5 [hp]	4.103 [kW]	0.01[USD/ kWh]	4 [USD]
Sistema de riego estacionario por aspersión	12 [h/mes]	15 [hp]	11.2 [kW]	0.01 [USD/ kWh]	1.34 [USD]

El costo teórico de consumo eléctrico es un indicador técnico que hace referencia a la potencia de las electrobombas de ambos sistemas, de esta forma se puede establecer un análisis comparativo didáctico. El costo real por consumo de energía eléctrica involucra factores experimentales, que, únicamente se los puede introducir en medios analíticos una vez que el sistema haya sido implementado, por lo tanto, el costo real por consumo de energía eléctrica del sistema actual, es mayor que el teórico.

- El costo de mano obrera

El costo de mano obrera se realizará en función del tiempo de operación de los sistemas de riego multiplicando por su equivalente monetario. El salario básico unificado en Ecuador equivale a USD 375.00 mensuales o USD 1.56 la hora. En la Tabla 38 se presenta el costo mensual por operación de mano obrera en los sistemas de riego.

Tabla 38. Costo de mano de obra.

Sistema	Tiempo de operación	Costo cada hora	Costo mensual
Sistema actual	96 [h/mes]	1.56 [USD]	149.76 [USD]
Sistema de riego estacionario por aspersión	12 [h/mes]	1.56 [USD]	18.72 [USD]

Es evidente la diferencia en cuanto a costos por operación entre ambos sistemas, el diseño de riego estacionario por aspersión tiene una óptima aptitud que involucra eficiencia técnica y económica.

- Evaluación de costos por operación

La notable variación de costos por operación entre ambos sistemas aprueban la implementación del sistema diseñado en este proyecto, en la Tabla 39 se exponen las estadísticas que cuantifican los resultados obtenidos.

Tabla 39. Evaluación de costos por operación.

Sistema	Costo teórico de consumo eléctrico	Costo de mano obrera	Total de costos de operación al mes
Sistema actual	4 [USD]	149.76 [USD]	153.76 [USD]
Sistema de riego estacionario por aspersión	1.34 [USD]	18.72 [USD]	20.06 [USD]

Fuente: Joao Sebastian Salas Quelal

La diferencia de ambos resultados representa el ahorro parcial de cada mes por operación del sistema propuesto:

$$Ahorro_{mes} = 153.76 \text{ USD} - 20.06 \text{ USD}$$

$$Ahorro_{mes} = 133.7 \text{ USD}$$

Y cada año equivale a una a la cifra de:

$$Ahorro_{año} = 1\,604.40 \text{ USD}$$

Esta cifra es referencial debido al costo teórico de consumo eléctrico, como se explicó anteriormente. El sistema de riego actual del Estadio Rafael Cabrera es de carácter público, por lo tanto, su función forma parte de la utilidad que este escenario deportivo brinda a la localidad. Por consiguiente, la utilidad económica que generase el estadio, forma parte de la mantención del mismo.

Dado el costo total de implementación del proyecto, el periodo de retorno de inversión se calcula de la siguiente manera [40]:

$$Periodo\ de\ retorno_{año} = \frac{\text{costo total del proyecto}}{\text{ahorro parcial}}$$

$$Periodo\ de\ retorno_{año} = \frac{8\,522.93 \text{ USD}}{1\,604.40 \text{ USD/año}}$$

$$Periodo\ de\ retorno_{año} = 5.3 \text{ años}$$

CONCLUSIONES

- El sistema actual dispone de un solo emisor requiriendo de un tiempo de operación de 8 h por sección de riego, lo que produce alto consumo energético y mayor tiempo de explotación de la electrobomba centrífuga. Asimismo, la funcionalidad técnica del emisor genera un 38% de escorrentía superficial, es decir, pérdida considerable de caudal y desaprovechamiento hídrico por el césped y el suelo.
- La configuración que se obtuvo para este proyecto consiste en una línea principal y 5 secundarias, con puntos de emisión distribuidos uniformemente. Cada línea se alimentará de forma independiente y los puntos de emisión están distribuidos simétricamente al trazado del campo.
- A partir del dimensionamiento del sistema se seleccionaron 22 aspersores con 3 diferentes radios mojados que se adaptan de forma ideal a la configuración establecida, se definió al ramal 5 como el más crítico en términos hidráulicos, con un requerimiento de 887,6 l/min y 6 bares de presión, que representa el punto de diseño del sistema.
- Con la aplicación del medio analítico de Darcy - Weisbach se obtuvo el modelo matemático simplificado que representa el aporte de energía al sistema, la cual genera una curva de rendimiento con un comportamiento rectilíneo.
- Al analizar las curvas de rendimiento de 3 bombas se determinó como mejor opción, la electrobomba centrífuga de 15 hp con un tanque hidroneumático de 480 l.
- Se desarrolló un plan de operación y mantenimiento preventivo sistemático en función de las especificaciones técnicas del cuidado de cada equipo y elemento del sistema (ver Anexo 9).
- Con el nuevo diseño se optimiza el tiempo de operación de 8h a 1h, genera 9% de producción de escorrentía superficial, e incrementa la eficiencia.
- El nuevo diseño tiene un ahorro parcial de 133.70 USD al mes que representa 1 604.40 USD al año, con un tiempo de retorno parcial de 5.3 años.

RECOMENDACIONES

- Reformar el cuarto de máquinas. Realizar la asepsia de todo el espacio físico y establecer un programa de limpieza de la instalación. Implementar ventilación natural para eliminar el calor generado por la electrobomba, colocar la señalización de seguridad e instalar una sistema de iluminación adecuado.
- Adquirir un sistema de anclaje que absorba las vibraciones producidas por la rotación del eje del motor y de la bomba, con el objetivo de evitar desalineamientos en la junta de la turbomáquina.
- Considerar las recomendaciones y advertencias expuestas en el manual de operación y mantenimiento (ver Anexo 9).
- Realizar la programación sistemática de mantenimiento preventivo y correctivo de acuerdo a las instrucciones del fabricante de cada elemento. Utilizar las tablas de registro de datos para llevar a cabo un ordenado historial técnico de todos los procesos de mantenimiento.
- Desarrollar un estudio técnico para la automatización del sistema de riego estacionario por aspersión, el cual pueda ser operado desde una unidad de control que ordene la puesta en marcha de todos los elementos del sistema.
- En caso de presentarse un temporal de invierno extenso, realizar una vez a la semana el drenado del agua que se encuentra en los ramales, esta agua puede generar la aparición de microorganismos por estancamiento. Además, un largo periodo sin operación del sistema puede causar el congelamiento de las líneas de descarga debido a las bajas temperaturas en invierno.
- Realizar un estudio sistemático del cultivo del césped Kikuyo y establecer la frecuencia de corte, riego y aireado ideales para el buen uso y cuidado de este tapiz vegetal.

Bibliografía

- [1] L. A. Gurovich, “Fundamentos y diseño de sistemas de riego.” IICA, San José de Costa Rica, p. 458, 1985.
- [2] C. D. V. Angeles, V. Fernández, M. Khalidou, “Elementos básicos de riego presurizado para productores,” 2002.
- [3] R. Chaves, D. Salazar, D. Orejuela, M. Cuichán, M. Suárez, and W. Villafuerte, “Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua 2012,” 2012.
- [4] M. Calvache, “Los Suelos Del Ecuador,” *XIV Congreso de la Sociedad Ecuatoriana de la Ciencia de los Suelos*. Quito, p. 54, 2014.
- [5] D. Salas, “TAXONOMIA_ECUADOR.” San Miguel de Urcuqui, 2017.
- [6] GAD Municipal de San Miguel de Urcuquí, “UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL CANTÓN URCUQUÍ,” <http://www.municipiourcuqui.gob.ec>, 2017. [Online]. Available: <http://www.municipiourcuqui.gob.ec/munurcuqui/index.php/2014-08-15-16-40-26/ubicacion-geografica>. [Accessed: 15-May-2017].
- [7] “Causas que ocasionan la deforestación y sus efectos sobre la socio economía de sus habitantes.,” Universidad Técnica del Norte, 2013.
- [8] L. Santos Pereira, J. A. De Juan Valero, M. R. Picornell Buendía, and J. M. Tarjuelo Martín.Benito, *El Riego Y Sus Tecnologías*, 1st ed. Albacete: CREA-UCLM, 2010.
- [9] G. Castañón, *Ingeniería del Riego, Utilización Racional del Agua*, 1st ed. Madrid: THOMSON LEARNING, 2000.
- [10] J. M. Gonzalez and E. Playan, “Principios básicos del riego por superficie,” *MINISTERIO DE AGRICULTURA PESCA Y ALIMENTACION*, vol. 1. Paseo de Infanta Isabel, Madrid, 2000.
- [11] SEPOR (Servicio de programación y optimización del uso del agua de riego), “Riego por surcos.” p. 5, 2014.

- [12] R. Fernández, “Manual de Riego para Agricultores.” Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera, Andalucía, p. 19, 2010.
- [13] Amiad Water Systems, “Catalogo de Riego,” 2012.
- [14] D. F. Tapia Cadena, “Manual de diseño de sistemas de riego tecnificado,” UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR, 2014.
- [15] HYDRO ENVIRONMENT, “riego_localizado_en_hidroponia.” COMERCIALIZADORA HYDRO ENVIRONMENT, S.A DE C.V., 2017.
- [16] J. M. Tarjuelo, *EL RIEGO POR ASPERSIÓN, DISEÑO Y FUNCIONAMIENTO*, 1st ed. Toledo: Ediciones de la Universidad de Castilla La Mancha, 1991.
- [17] HUNTER INDUSTRIES, “POINT SOURCE DRIP EMITTERS.” COPYRIGHT © 2017 HUNTER INDUSTRIES, USA, 2017.
- [18] Alibaba Group, “PE-agricultural-flat-sprinkler-irrigation-tape.” Alibaba.com, 2017.
- [19] Euro-Rain, “cañón de riego JET 40.” Euro-Rain, S.L. Copyrigh, 2017.
- [20] Rivulis Irrigation, “Flow-regulated micro sprinkler / spike type JFR.” Copyright © Rivulis 2017, 2017.
- [21] J. T. Torres, “Riego por exudación.” TEXBOR SA, pp. 1–21, 2017.
- [22] MACRO-TUBO S.A., “CAMPOS DE FÚTBOL,” *elRiego.com*, 2017. [Online]. Available: <http://elriego.com/informacion-tecnica/disenio/riego-en-campos-deportivos/campos-de-futbol/>. [Accessed: 09-May-2017].
- [23] HUNTER, “PLANOS DE INSTALACIONES DEPORTIVAS,” *HUNTER INDUSTRIES*, 2017. [Online]. Available: https://www.hunterindustries.com/es/resource_guide/sports-fields-plans. [Accessed: 09-May-2017].
- [24] A. Parracia, “Césped: Principales especies, manejo y métodos de propagación usados en parques y jardines,” PONTIFICIA UNIVERSIDAD

CATÓLICA ARGENTINA, 2012.

- [25] F. Anangonó, “Liga Deportiva Cantonal de Urcuquí,” *Liga Deport. Cant. Urcuquí*, vol. 1, pp. 1–2, 2005.
- [26] D. Cabascango, F. Mesías, and D. Quiroz, “Análisis de los componentes del agua potable en el cantón Urcuquí.” UNIVERSIDAD DE INVESTIGACIÓN DE TECNOLOGÍA EXPERIMENTAL YACHAY, Urcuquí, 2016.
- [27] G. Mancheno and C. Ramos, “EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA EN LA QUEBRADA HUARMİYACU DEL CANTÓN URCUQUÍ, PROVINCIA DE IMBABURA PARA EL PREDISEÑO DE LA PLANTA DE POTABILIZACIÓN DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO DE LAS POBLACIONES DE SAN BLAS Y URCUQUÍ,” ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL, 2015.
- [28] DEPARTAMENTO DE PLANIFICACIÓN, “LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO DEL ESTADIO ‘RAFAEL CABRERA’ - URCUQUÍ.” GOBIERNO AUTONOMO DESCENTRALIZADO MUNICIPAL SAN MIGUEL DE URCUQUI, San Miguel de Urcuqui, 2017.
- [29] HUNTER, “RIEGO RESIDENCIAL Y COMERCIAL,” *HUNTER INDUSTRIES*, 2017. [Online]. Available: <https://www.hunterindustries.com/es/product/aspersores/i-90>. [Accessed: 05-Jul-2017].
- [30] R. Mott, *Mecánica de fluidos*, 6th ed. México: PRENTICE HALL INC, 2006.
- [31] C. Mataix, *MECÁNICA DE FLUIDOS Y MÁQUINAS HIDRÁULICAS*, 2nd ed. Madrid: Ediciones del Castillo, S.A., 1982.
- [32] GREAT SEAL TECHNOLOGY CO. LTD., “Bomba Química Centrífuga de Agua de 3196 Goulds ANSI MTX,” *TAIWANTRADE*, 2017. [Online]. Available: <https://greatseal.es.taiwantrade.com/product/bomba-química-centrífuga-del-agua-de-3196-goulds-ansi-mtx-784290.html>. [Accessed: 18-

Jul-2017].

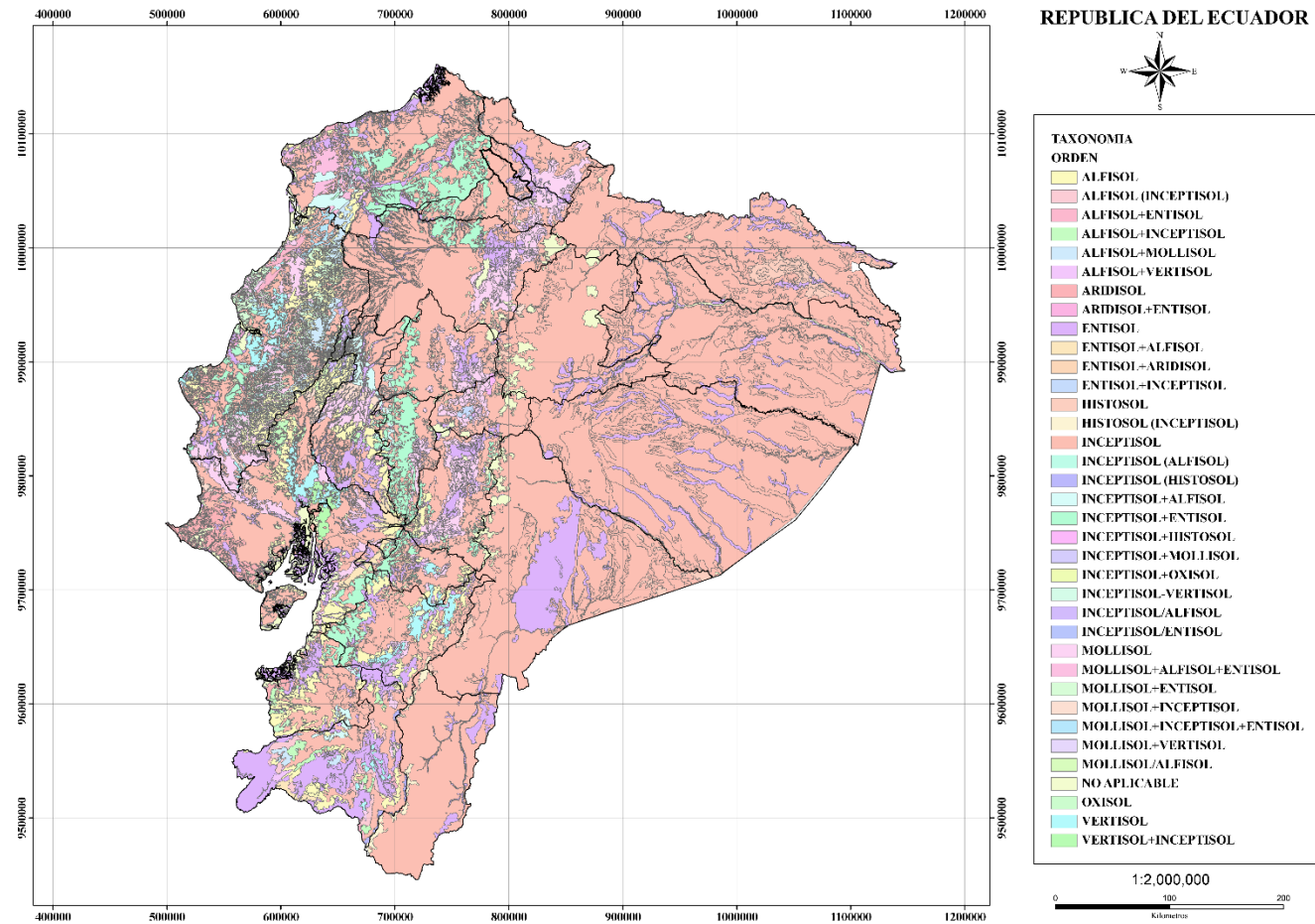
- [33] Barmesa, “ELECTROBOMBA CENTRÍFUGA MED. PRESIÓN.” <http://www.barnes.com.mx/>, México, p. 3, 2017.
- [34] BOMBASA, “Válvulas de pie: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS Y CONDICIONES DE OPERACIÓN,” 2017. [Online]. Available: <http://www.bombasa.com/files/mce/files/Bombasa-valvula-ckeck-HFVCSerie210-210T-Helb.pdf>. [Accessed: 16-Aug-2017].
- [35] Helbert, “Válvulas _Globo,” 2016. [Online]. Available: <http://www.helbertycia.com/productos/valvulas-globo/213a-registro-globo-red-white>. [Accessed: 16-Aug-2017].
- [36] Barnes de Colombia S.A., “Bombas de alta presión con motor eléctrico: KE 3 150,” *www.barnes.com.co*, Colombia, pp. 21–22, 2014.
- [37] Barnes de Colombia S.A., “Bombas de alta presión con motor eléctrico: KE 3 200 y KE 3 250,” *www.barnes.com.co*, Colombia, pp. 3–4, 2014.
- [38] Césped.es., “INTRODUCCIÓN A CUIDADOS Y MANTENIMIENTO,” *Información sobre césped natural*, 2005. [Online]. Available: https://www.cesped.es/riego-del-cesped/#como_beneficia_el_riego_al_cesped. [Accessed: 13-Feb-2017].
- [39] J. García Colín, *Contabilidad de costos*, 3rd ed. México, D. F.: McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V., 2008.
- [40] W. Sullivan, E. Wicks, and J. Luxhoj, *Ingeniería Económica de DeGarmo*, 12th ed. México: PEARSON EDUCACIÓN, 2004.
- [41] C. Horngren, S. Datar, and M. Rajan, *Contabilidad de Costos un Enfoque Gerencial*, 14th ed. México: Pearson Educación de México, S.A. de C.V., 2012.
- [42] R. Polimeni, F. Fabozzi, A. Adelberg, and M. Kole, *Contabilidad de Costos*, 3rd ed. Santafé de Bogotá: McGraw - Hill INTERAMERICANA, S.A., 1997.

- [43] A. Araujo, “Alza de tarifas eléctricas busca bajar el subsidio,” *EL COMERCIO*, Quito, 2017.
- [44] M. González, “Diagrama de Moody,” *Método para el cálculo de la Pérdida de Carga Distribuida*, 2011. [Online]. Available: <http://fisica.laguia2000.com/complementos-matematicos/diagrama-de-moody>. [Accessed: 12-Jul-2017].
- [45] HUNTER, “I-90 Aspersores de Turbina,” *Hunter Industries Incorporated*, 2017. [Online]. Available: https://www.hunterindustries.com/sites/default/files/BR_I90_sp.pdf. [Accessed: 28-Sep-2017].
- [46] HUNTER, “I-90 Especificaciones,” *hunterindustries.com*, 2017. [Online]. Available: <https://www.hunterindustries.com/sites/default/files/CA-Cutsheets-I-90-ES.pdf>. [Accessed: 28-Sep-2017].
- [47] HUNTER, “I-40 ASPERSOR,” *Hunter Industries Incorporated*, 2014. [Online]. Available: https://www.hunterindustries.com/sites/default/files/brochures/brochure_I-40_INT-697-ES.pdf. [Accessed: 28-Sep-2017].
- [48] HUNTER, “I-40 Especificaciones,” *hunterindustries.com*, 2017. [Online]. Available: <https://www.hunterindustries.com/sites/default/files/CA-Cutsheets-I-40-ES.pdf>. [Accessed: 28-Sep-2017].
- [49] Barmesa, “Manual de Instalación, Operación y Mantenimiento.” BARNES DE MÉXICO S.A. DE C.V., México, pp. 1–20, 2015.
- [50] MANTENIMIENTO LA, “Confiabilidad, Disponibilidad y Mantenibilidad,” *MANTENIMIENTO LATINO AMERICANO*, 2011. [Online]. Available: <https://maintenancela.blogspot.com/2011/10/confiabilidad-disponibilidad-y.html>. [Accessed: 03-Oct-2017].
- [51] INFOJARDIN, “Mantenimiento del césped: aireado y escarificado,” 2017. [Online]. Available:

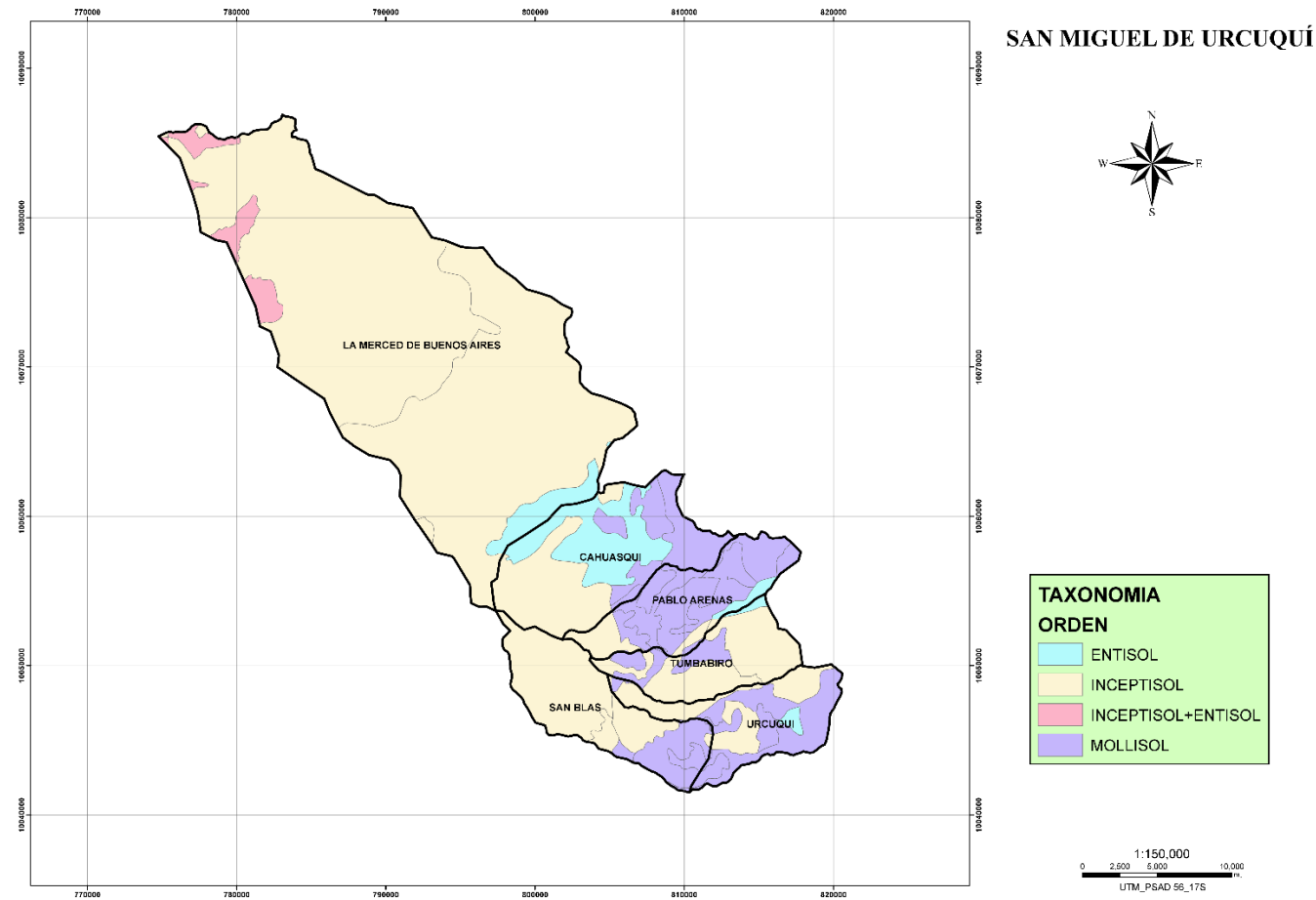
http://articulos.infojardin.com/cesped/aireado_escarificado.htm. [Accessed: 03-Oct-2017].

ANEXOS

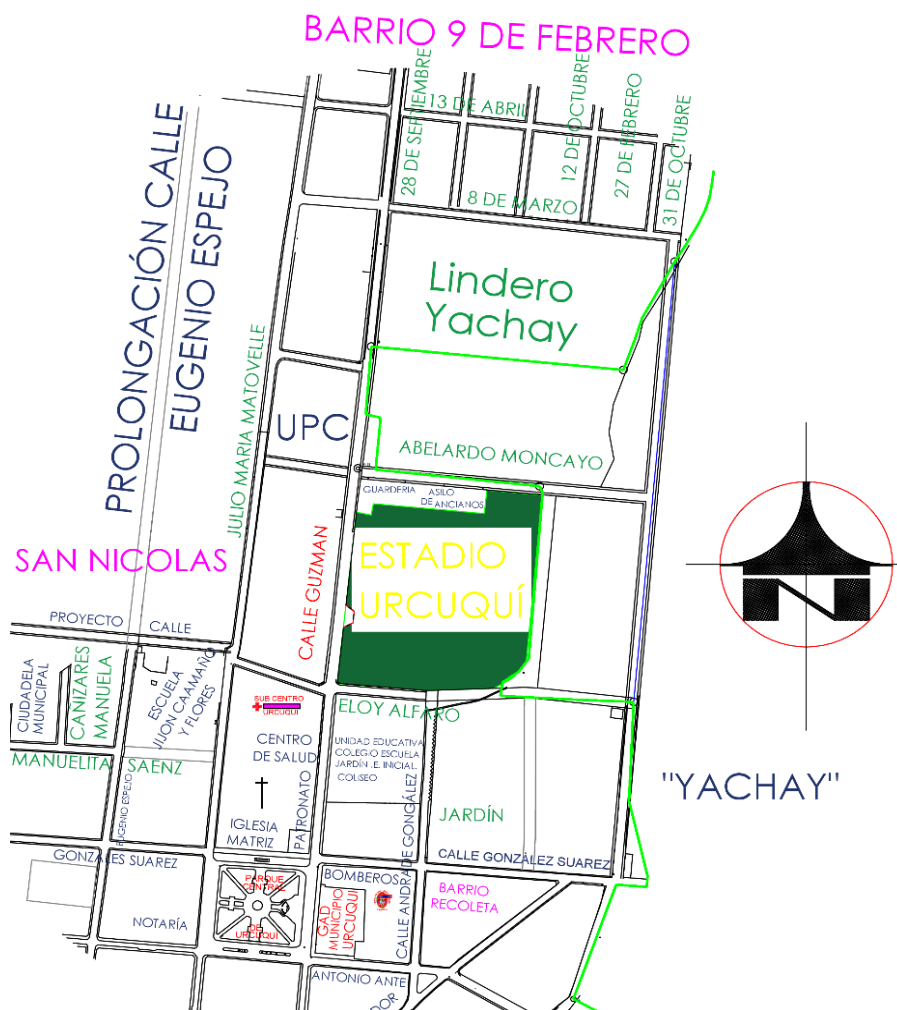
Anexo 1: Taxonomía del suelo en Ecuador [5]



Anexo 2: Taxonomía del suelo en el cantón Urcuquí [5]



Anexo 3: Croquis – dirección del Estadio Rafael Cabrera [28]



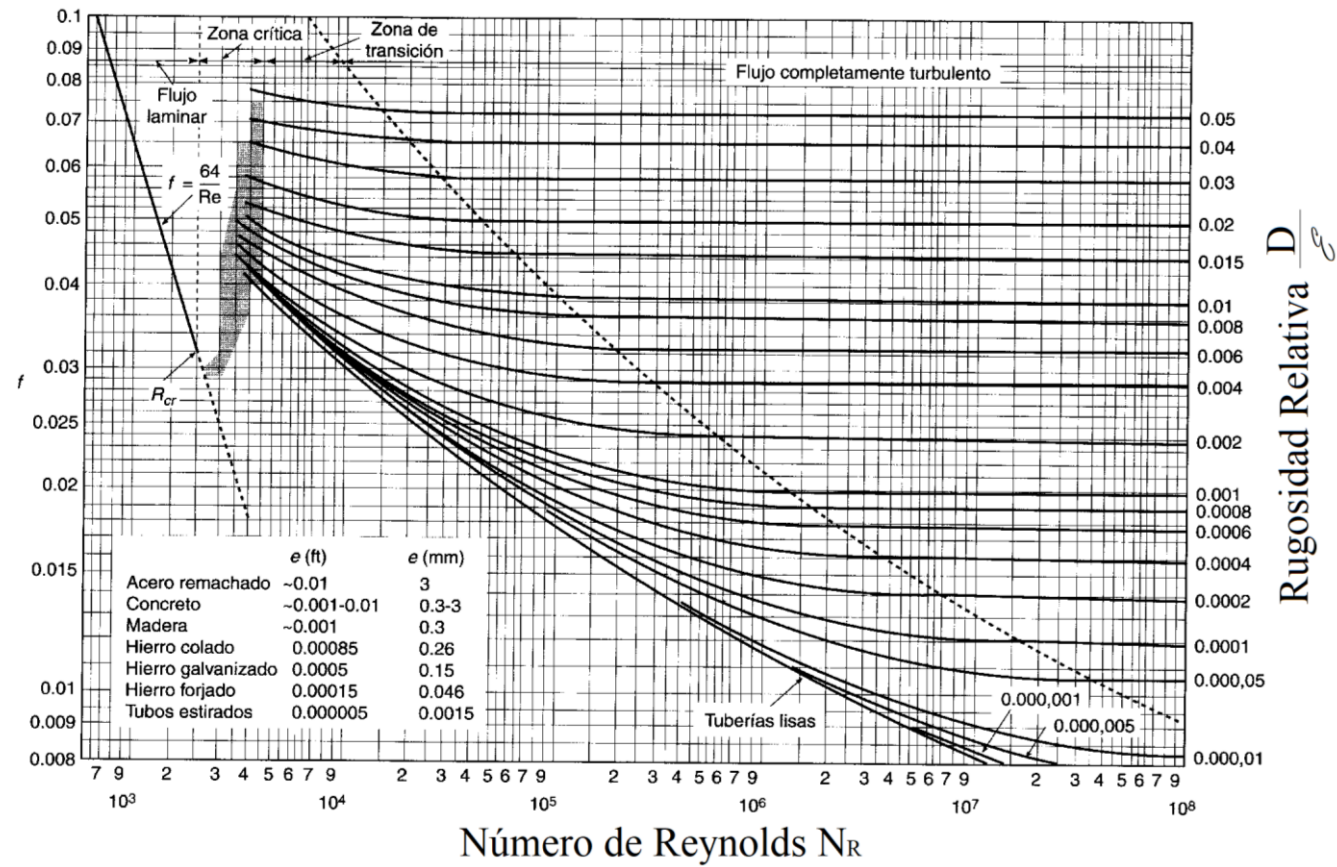
Anexo 4: Rugosidad de diseño de tubos

Tabla 4.1. Valores de diseño de la rugosidad de tubos por [30]

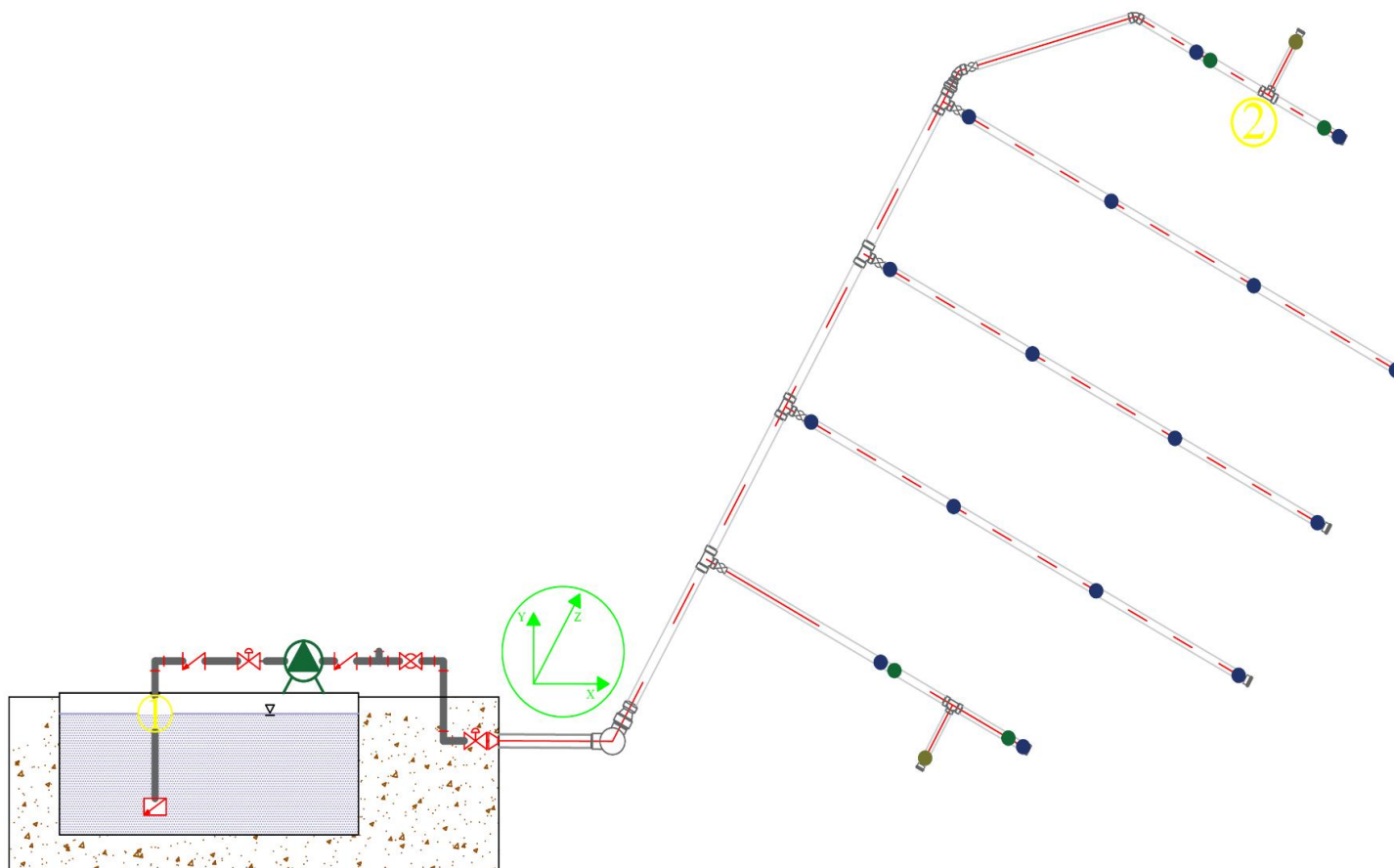
Material	Rugosidad ϵ [m]	Rugosidad ϵ [pie]
Vidrio	Liso	Liso
Plástico	$3.0 * 10^{-7}$	$1.0 * 10^{-6}$
Tubo extruido: cobre, latón y acero	$1.5 * 10^{-6}$	$5.0 * 10^{-6}$
Acero, comercial o soldado	$4.6 * 10^{-5}$	$1.5 * 10^{-4}$
Hierro galvanizado	$1.5 * 10^{-4}$	$5.0 * 10^{-4}$
Hierro dúctil, recubierto	$1.2 * 10^{-4}$	$4.0 * 10^{-4}$
Concreto, bien fabricado	$1.2 * 10^{-4}$	$4.0 * 10^{-4}$

Anexo 5: Diagrama de Moody [44]

Diagrama de Moody



Anexo 6: Esquema espacial del sistema de riego estacionario por aspersión



Fuente: Joao Sebastian Salas Quelal

**Anexo 7: Ficha técnica - Electrobomba Barnes de alta presión KE 3 150 y
tanque hidroneumático EVANS 480 Lts [36]**



www.barnes.com.co

Bombas Alta presión con motor eléctrico

KE 3 100
KE 3 150

Características de la bomba

Tipo de bomba	Acoplamiento	Tipo de impulsor						
Centrífuga	Monobloque	Cerrado, balanceado dinámicamente (ISO G6.3)						
Etapas	Cierre del eje	Temperatura máx. líquido						
1	Sello mecánico 1 1/4" Tipo 21	70°C (158°F) Continua						
Modelo	Ref.	Ø Succión	Ø Descarga	Ø Impulsor	Peso (kg)	H máx. (mca) *	Q máx. (gpm) **	
1 KE 3 100	1E0533	3" NPT	3" NPT	6,325"	83,0	55	250	
2 KE 3 150	1E0534	3" NPT	3" NPT	7,400"	87,0	71	278	

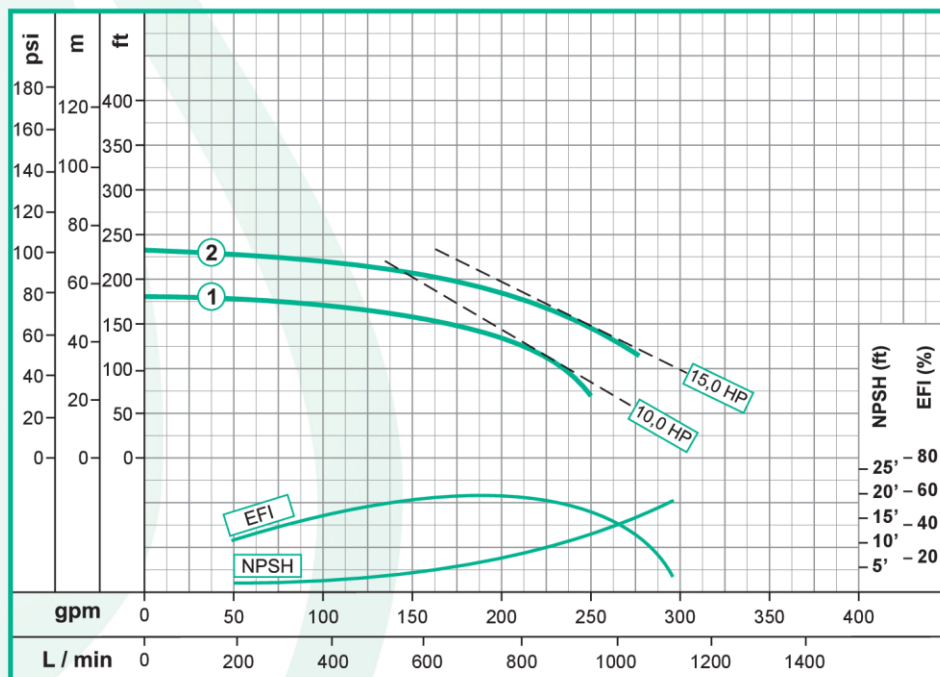
* La altura (H) máxima se logra con la válvula totalmente cerrada. (mca= metros columna de agua).

** El caudal (Q) máximo se logra con la válvula totalmente abierta. (gpm= galones por minuto).

Características del motor

Alimentación	Velocidad (rpm)		
Eléctrica	3.600 (nominal)		
Cerramiento	Frecuencia (Hz)		
TEFC	60		
Potencia (hp)	Fases	Voltaje (V)	Frame
10,0	3	220/440	NEMA 213JM
15,0	3	220/440	NEMA 215JM

Curva de rendimiento



Aplicaciones

Uso doméstico
Sector agrícola
Industria
Construcción
Institucional

- Acueductos
- Aprovechamiento de aguas limpias
- Distribución de agua en unidades residenciales
- Extracción de agua de pozos llanos
- Industria Minera
- Industria Petroquímica
- Industria Química
- Lavado a presión de maquinaria
- Lavado de establos
- Llenado de tanques elevados
- Llenado tanque bajo-tanque alto
- Recirculación de agua en torres de enfriamiento
- Riego por aspersión
- Sistemas contra incendio
- Sistemas de presión
- Sistemas de trabajo pesado y continuo

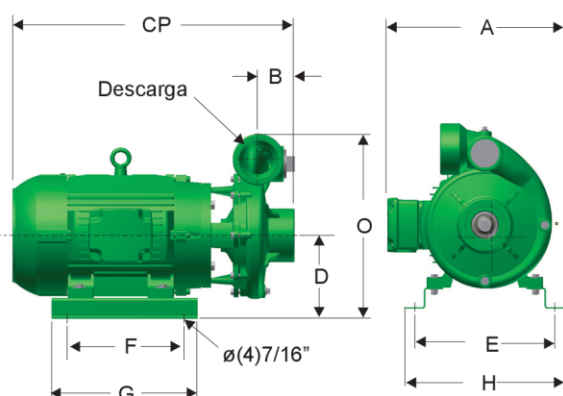
Nota: Las especificaciones técnicas están sujetas a cambios sin previo aviso.

Fecha última revisión

2014-11-21

Dimensiones generales (mm)

Modelo	CP	O	A	B	E	D	F	G	H
KE 3 100	568	395	379	78	305	178	178	311	343
KE 3 150	600	395	379	78	305	178	140	311	343

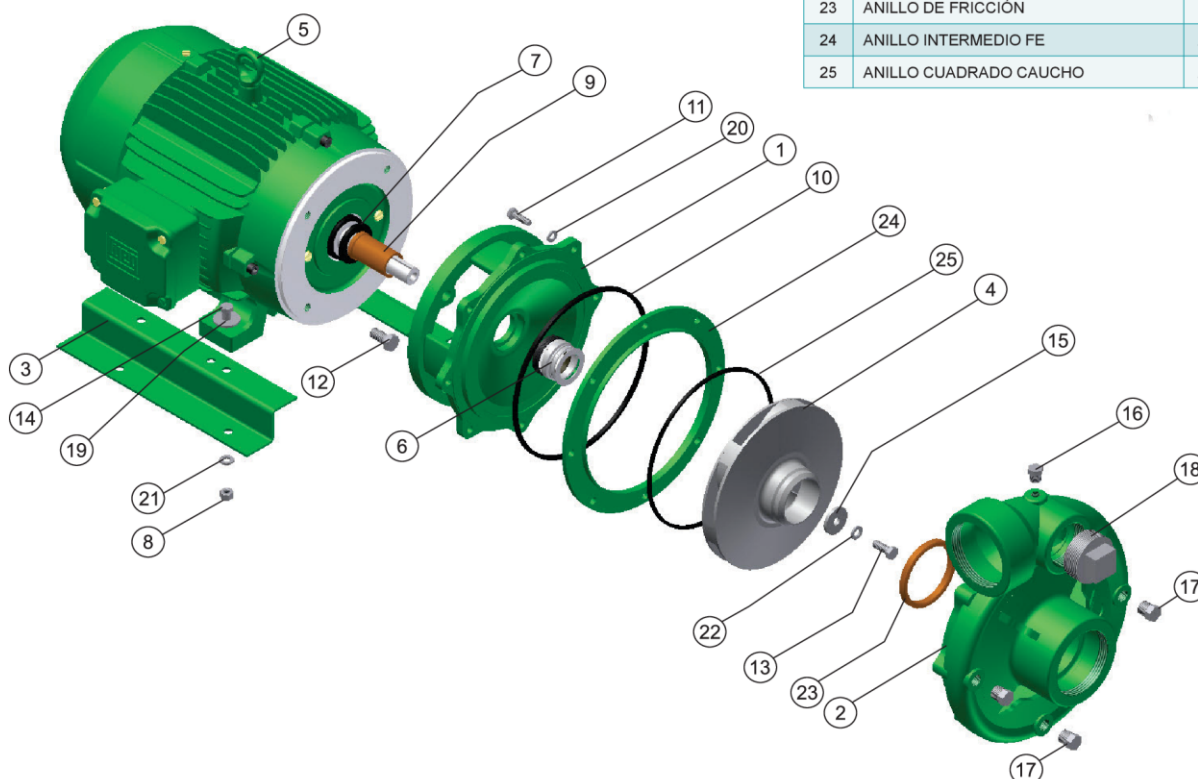


Materiales

Cuerpo	Hierro fundido ASTM A-48, Clase 20
Impulsor	Hierro fundido ASTM A-48, Clase 20
Sello mecánico	Carbon / Cerámica / Buna-N
Acople intermedio	Hierro fundido ASTM A-48, Clase 20
Empaques	Buna Nitrilo

Lista de partes

No.	Descripción	Ref.	Cantidad	
			1	2
1	ACOPLE FE	22729	1	1
2	CUERPO FE	22764	1	1
3	BASE MOTOR	30176	2	2
4	IMPULSOR FE Ø 6,325"	26632	1	
4	IMPULSOR FE Ø 7,400"	26740		1
5	MOTOR E 10-2 213JM 2/4V-3 TEFC	13981	1	
5	MOTOR E 15-2 215JM 2/4V-3 TEFC	13969		1
6	SELLO MEC. 1-1/4" T21 0120SBP4RS	00050	1	1
7	ARANDELA CAUCHO 1-13/64	05163	1	1
8	TUERCA 3/8 NC.GR.2 IRIZADA	02502	4	4
9	CAMISA BR 1-1/4 MOTOR 213/215J	23764	1	1
10	ANILLO CUADRADO CAUCHO HC	21297	1	1
11	TORNILLO 5/16x1-1/2 NC.GR2 ZIN	18929	8	8
12	TORNILLO 1/2 X 1 1/4 NC.GR.5	02224	4	4
13	TORNILLO 3/8 X 1-1/2 NC INOXID	02247	1	1
14	TORNILLO 3/8 X 1-1/2 NC.GR.2	02236	4	4
15	ARANDELA Ø1-3/8xØ13/32x5/32	26717	1	1
16	TAPÓN GALV. 1/4 NPT	03201	1	1
17	TAPÓN GALV. 3/8 NPT	15000	3	3
18	TAPÓN GALV. 2 NPT	03208	1	1
19	ARANDELA 3/8 HIERRO GR.2 ZINC	02553	4	4
20	GUASA 5/16 ACERO GR.5	02602	8	8
21	GUASA 3/8 ACERO GR.5	02604	4	4
22	GUASA 3/8 SS	02616	1	1
23	ANILLO DE FRICCIÓN	30647	1	1
24	ANILLO INTERMEDIO FE	22748	1	1
25	ANILLO CUADRADO CAUCHO	27265	1	1



Nota: Las especificaciones técnicas están sujetas a cambios sin previo aviso.



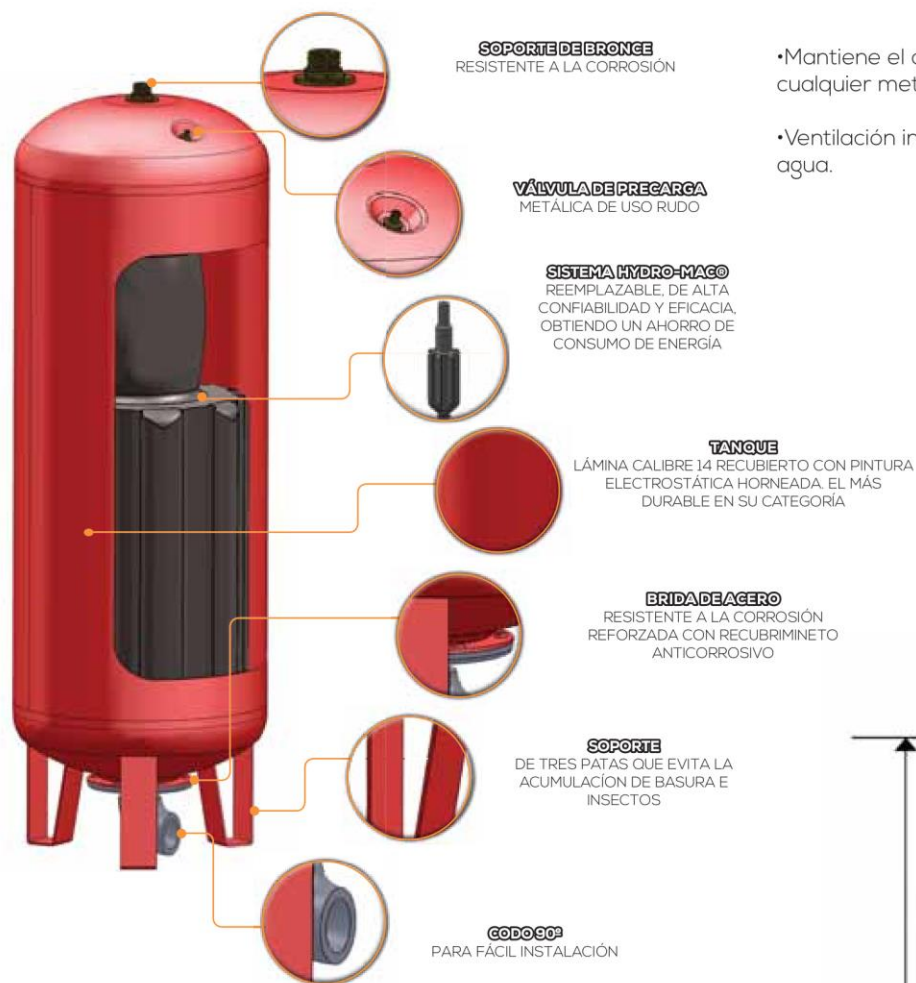
Disfruta de la Presión del Agua

HIDRONEUMÁTICOS

IDEAL PARA SISTEMAS DE ALTA PRESIÓN CON BOMBAS SUMERGIBLES O DE SUPERFICIE (JET Y CENTRIFUGAS). PARA USO EN LAVANDERÍAS, HOTELES, SPA'S, CONDOMINIOS RESIDENCIALES, ESCUELAS, HOSPITALES, ETC

•Mantiene el agua limpia por evitar el contacto con cualquier metal.

•Ventilación interna que no permite la condensación del agua.





SELECCIONA TU HIDRONEUMÁTICO CON BOMBA MULTIETAPAS

✓ Consulta especificaciones y características técnicas de las bombas SSXH1 en la página 38



SELECCIONA TU HIDRONEUMÁTICO

De acuerdo al número de llaves y el número de pisos de tu casa.

BASADO EN CONSUMOS ESTANDAR (Water Well Association U.S.)						
	Capacidad del Tanque	90 LTS./ 24 GAL	110 LTS./ 29 GAL	130 LTS./ 34 GAL	150 LTS./ 40 GAL	170 LTS./ 45 GAL
	MODELO	EASS075-090VE	EASS075-110VE	EASS075-130VE	EASS100-150VE	EASS100-170VE
	# de llaves	9 a 13	13 a 17	17 a 21	21 a 24	24 a 28
	# de Pisos	2 	2 	2 	2 	3 
PRESION RECOMENDADA EN UNA CASA DE 1 PISO 20-40PSI						

✓ Consulta especificaciones y características técnicas de las bombas SSX1 en la página 62

SELECCIONA TU HIDRONEUMATICO						
De acuerdo al número de llaves y el número de pisos de tu casa.						
BASADO EN CONSUMOS ESTANDAR (Water Well Association U.S.)						
	Capacidad del Tanque	130 LTS./ 34 GAL	170 LTS./ 44 GAL	310 LTS./ 81 GAL	380 LTS./ 100 GAL	480 LTS./ 126 GAL
	TANQUE	EHSS050-130VE	EHSS050-170VE	EHSS100-310VE	EHSS100-380VE	EHSS150-480VE
	# de llaves	20	20	30	30	45
	# de Pisos	2 	2 	3 	3 	3 
*Considerando que máximo 60% de las salidas son utilizadas simultáneamente.						

PREGUNTE POR LA DISPONIBILIDAD DE ESTOS EQUIPOS.

TANQUES SISTEMAS HYDRON-MAC®

Sistema HYDRO-MAC®



Los Tanques Hidroneumáticos Evans cuentan con un innovador Sistema Hydro-MAC®, que evita que el metal entre en contacto con el agua y genere la corrosión, malos olores y sabores desagradables.

El sistema Hydro-MAC® es reemplazable, confiable y de alta eficiencia, ayudando además al ahorro de energía

Para uso en lavanderías, hoteles, baños públicos, condominios residenciales, escuelas y hospitales.



TABLA DE DIMENSIONES CM

MODELO	CAPACIDAD LTS	TIPO	ALTO	ALTO TANQUE SIN BASE	Ø DE TANQUE	ØD NPT	PESO
EQTH-025LE	25 L.	Linea	40.64	40.64	30.48	1"	8 Kg
EQTH-025HE	25 L.	Horizontal	35.94	34.94	30.48	1"	8.5 Kg
EQTH-050LE	50 L.	Linea	50.80	54.61	35.56	1"	12.5 Kg
EQTH-050HE	50 L.	Horizontal	43.18	35.56	54.61	1"	12.5 Kg
EQTH-090VE	90 L.	Vertical	93.00	81.42	35.56	1"	16.2 Kg
EQTH-110VE ✓	110L.	Vertical	107.47	98.11	35.56	1"	18.9 Kg
EQTH-130VE	130 L.	Vertical	92.00	82.50	45.72	1"	18 Kg
EQTH-150VE	150 L.	Vertical	99.22	89.85	45.72	1"	19.7 Kg
EQTH-170VE	170 L.	Vertical	107.47	98.11	45.72	1"	22.4 Kg
EQTH-310VE	310 L.	Vertical	104	90.7	66	1 1/4"	45.5 Kg
EQTH-380VE	380 L.	Vertical	118.7	106	66	1 1/4"	50 Kg
EQTH-480VE	480 L.	Vertical	148.3	135.6	66	1 1/4"	61 Kg

Anexo 8: Ficha técnica - Aspersores Hunter I-90 e I-40 [45] [46] [47] [48]

I-90

Radio: **22,3 a 31,4 m**
Caudal: **6,7 a 19,04 m³/h; 111,7 a 317,2 l/min**
Conexión: **1½" BSP**

CARACTERÍSTICAS

- Modelo: 8 cm
- Configuración del sector: de 40° a 360° (todos los modelos)
- Tipos de boquilla: 8
- Modelos de boquilla: de #25 a #73
- Ajuste del sector por la parte superior
- Mecanismo de verificación rápida del sector (todos los modelos)
- Engranaje lubricado por agua
- Boquilla estándar de fábrica: #53
- Cubierta de goma instalado de fábrica
- Período de garantía: 5 años
- ▶ **Modelo de boquillas opuestas 360°**
- ▶ **Boquillas con codificación por colores**
- ▶ **Identificación de agua reciclada**
- ▶ **Válvula antidrenaje (hasta 2 m de desnivel)**



I-90

Altura total: 28 cm
Altura de emergencia: 8 cm
Diámetro expuesto: 9 cm
Conexión: 1½" (40 mm) BSP

ESPECIFICACIONES DE FUNCIONAMIENTO

- Radio: de 20,1 m - 29,6 m
- Caudal: de 6,7 a 19,04 m³/h; 111,7 a 317,2 l/min
- Intervalo de presión recomendado: de 5,5 a 8,0 bar; 550 a 800 kPa
- Intervalo de presión de funcionamiento: de 5,0 a 8,0 bar; 500 a 800 kPa
- Pluviometrías: 19 mm/h aprox.
- Trayectoria boquilla: 22,5°

OPCIONES INSTALADAS POR EL USUARIO

- Tapa con Césped
- I-90 todos: P/N 467955
- Cubierta de Goma
- I-90-ADV: P/N 234200 (todos)
- I-90-36V: P/N 234200 (códigos de fecha 0711 y posteriores)
- I-90-36V: P/N 234201 (códigos de fecha 0611 y anteriores únicamente)

▶ = *Descripciones detalladas de funciones avanzadas en la página 20*



Tapa con Césped
P/N 467955



I-90 Agua Reciclada

Disponible como opción instalada de fábrica en todos los modelos.



Cubierta de Goma
I90-ADV: P/N 234200
I90-36V: P/N 234201

I-90 - ESPECIFICACIONES: ORDEN 1 + 2 + 3 + 4

1	Modelo	2	Características estándar	3	Características opcionales	4	Boquillas opcionales
	I-90 = Emergencia de 8 cm		Vástago de plástico, válvula antidrenaje, y 8 boquilla		ADV = Sector ajustable ARV = Sector ajustable e identificación de agua reciclada 36V = Círculo completo, boquillas opuestas 3RV = Círculo completo, boquillas opuestas e identificación de agua reciclada B = Conexión roscada BSP		de #25 a #73 = Número de boquilla instalado de fábrica

Ejemplos:

I-90 - ADV - B = Emergencia de 8 cm, sector ajustable, conexión roscada BSP

I-90 - 36V - B - 43 = Emergencia de 8 cm, boquillas opuestas, conexión roscada BSP y boquilla #43

I-90 - 3RV - B - 63 = Emergencia de 8 cm, círculo completo, boquillas opuestas, identificación de agua reciclada, conexión roscada BSP y boquilla #63

DATOS DE RENDIMIENTO DE LAS BOQUILLAS I-90 ADV

Boquilla	Presión		Radio m	Caudal		Pluv mm/h	
	bar	kPa		m³/h	l/min	■	▲
25 ● Azul Claro	5,5	550	20,1	6,70	111,7	33,1	38,2
	6,0	600	20,4	7,16	119,2	34,3	39,6
	7,0	700	20,7	7,54	125,7	35,1	40,5
	7,5	750	21,0	8,09	134,8	36,6	42,2
33 ● Gris	5,5	550	20,7	8,22	137,0	38,3	44,2
	6,0	600	21,0	8,68	144,6	39,2	45,3
	7,0	700	21,3	9,18	152,9	40,3	46,6
	7,5	750	21,6	9,68	161,3	41,3	47,7
38 ● Rojo	5,5	550	21,9	9,22	153,7	38,3	44,2
	6,0	600	22,3	9,77	162,8	39,5	45,6
	7,0	700	22,9	10,31	171,9	39,5	45,6
	7,5	750	23,2	10,81	180,2	40,3	46,5
43 ● Marrón osc.	5,5	550	22,6	10,47	174,5	41,2	47,5
	6,0	600	22,6	11,02	183,6	43,3	50,0
	7,0	700	22,9	11,52	191,9	44,1	50,9
	7,5	750	23,5	12,13	202,1	44,0	50,9
48 ● Verde osc.	5,5	550	23,5	11,40	190,0	41,4	47,8
	6,0	600	24,1	11,95	199,1	41,2	47,6
	7,0	700	24,7	12,52	208,6	41,1	47,4
	7,5	750	25,0	13,06	217,7	41,8	48,3
53 ● Azul osc.*	5,5	550	24,7	12,47	207,8	40,9	47,2
	6,0	600	25,6	12,99	216,5	39,6	45,8
	7,0	700	26,2	13,52	225,2	39,3	45,4
	7,5	750	26,5	14,11	235,1	40,1	46,3
63 ● Negro	8,0	800	26,8	14,63	243,8	40,7	47,0
	5,5	550	26,2	14,15	235,8	41,2	47,6
	6,0	600	26,8	14,88	247,9	41,4	47,8
	7,0	700	27,4	15,67	261,2	41,7	48,1
73 ● Naranja	7,5	750	27,7	16,33	272,2	42,5	49,0
	8,0	800	28,0	16,97	282,8	43,2	49,8
	5,5	550	27,1	16,51	275,2	44,9	51,8
	6,0	600	27,7	17,13	285,4	44,5	51,4
	7,0	700	28,3	17,74	295,6	44,2	51,0
	7,5	750	29,0	18,38	306,2	43,8	50,6
	8,0	800	29,6	19,04	317,2	43,5	50,3

* Boquilla instalada de fábrica

Nota:

Todas las pluviometrías están calculadas en un arco de 180°.
Para la pluviometría de un aspersor de 360°, dividir entre 2.

DATOS DE RENDIMIENTO DE LAS BOQUILLAS I-90 ADV

Boquilla	Presión		Radio m	Caudal		Pluv mm/h	
	bar	kPa		m³/h	l/min	■	▲
25 ● Azul Claro	5,5	550	22,3	6,93	115,5	14,0	16,2
	6,0	600	22,9	7,36	122,6	14,1	16,3
	7,0	700	23,2	7,79	129,8	14,5	16,8
	7,5	750	23,8	8,29	138,2	14,7	16,9
33 ● Gris	5,5	550	23,5	8,25	137,4	15,0	17,3
	6,0	600	23,8	8,72	145,4	15,4	17,8
	7,0	700	24,4	9,22	153,7	15,5	17,9
	7,5	750	24,7	9,70	161,6	15,9	18,4
38 ● Rojo	5,5	550	24,4	9,22	153,7	15,5	17,9
	6,0	600	25,0	9,75	162,4	15,6	18,0
	7,0	700	25,3	10,29	171,5	16,1	18,6
	7,5	750	25,9	10,84	180,6	16,1	18,6
43 ● Marrón osc.	5,5	550	25,3	10,49	174,9	16,4	18,9
	6,0	600	25,6	11,04	184,0	16,8	19,4
	7,0	700	25,9	11,56	192,7	17,2	19,9
	7,5	750	26,2	12,13	202,1	17,7	20,4
48 ● Verde osc.	5,5	550	26,2	11,27	187,8	16,4	18,9
	6,0	600	27,1	11,93	198,7	16,2	18,7
	7,0	700	27,4	12,45	207,4	16,5	19,1
	7,5	750	27,7	13,02	216,9	16,9	19,5
53 ● Azul osc.*	5,5	550	27,1	12,31	205,2	16,7	19,3
	6,0	600	27,4	12,88	214,6	17,1	19,8
	7,0	700	28,0	13,45	224,1	17,1	19,7
	7,5	750	28,3	14,02	233,6	17,4	20,1
63 ● Negro	8,0	800	28,7	14,58	243,0	17,8	20,5
	5,5	550	28,0	14,36	239,2	18,3	21,1
	6,0	600	28,7	14,97	249,5	18,2	21,1
	7,0	700	29,3	15,76	262,7	18,4	21,3
73 ● Naranja	7,5	750	29,6	16,36	272,5	18,7	21,6
	8,0	800	29,9	17,01	283,5	19,1	22,0
	5,5	550	29,3	16,38	272,9	19,1	22,1
	6,0	600	29,9	17,04	283,9	19,1	22,0
	7,0	700	30,2	17,67	294,5	19,4	22,4
	7,5	750	31,1	18,29	304,7	18,9	21,8
	8,0	800	31,4	18,92	315,3	19,2	22,2

BOQUILLAS I-90

ADV & 36V

Ángulo Bajo
ADV & 36V**

** Para boquillas de ángulo bajo, reducir el radio un 15%

I-90



I-40

Radio: **13,1 a 23,2 m**

Caudal: **1,63 a 6,84 m³/h; 27,2 a 114,1 l/min**

Conexión: **1" BSP**

CARACTERÍSTICAS

- Modelos con vástago inoxidable: de 10 a 15 cm
- Configuración del sector: de 50° a 360°
- Cubierta de goma instalada de fábrica
- Tipos de boquilla: 12
- Tipos de boquilla I-40: de #8 to #25
- Tipos de boquilla I-40-ON: de #15 a #28
- Ajuste del sector por la parte superior
- Mecanismo de verificación rápida del sector
- Engranaje lubricado por agua
- Período de garantía: 5 años
- Modelo de boquillas opuestas 360°
- Retorno automático de sector
- Accionamiento no desmontable
- Círculo total o parcial en un mismo modelo
- Boquillas con codificación por colores
- Identificación de agua reciclada
- Vástago de acero inoxidable
- Válvula antidrenaje (hasta 4,5 m de desnivel)



I-40-04

Altura total: 20 cm
Altura de emergencia: 10 cm
Diámetro expuesto: 5 cm
Conexión: 1" BSP



I-40-06

Altura total: 26 cm
Altura de emergencia: 15 cm
Diámetro expuesto: 5 cm
Conexión: 1" BSP

ESPECIFICACIONES DE FUNCIONAMIENTO

- Radio I-40: de 13,4 a 23,2 m
- Radio I-40-ON de 13,4 a 23,2 m
- Caudal I-40: de 1,52 a 7,76 m³/h; de 25,4 a 229,4 l/min
- Caudal I-40-ON: de 1,52 a 7,76 m³/h; de 25,4 a 229,4 l/min
- Intervalo de presión recomendado: de 2,5 a 7,0 bar; de 250 a 700 kPa
- Intervalo de presión de funcionamiento: de 2,5 a 7,0 bar; de 250 a 700 kPa
- Pluviometrías: 15 mm/h aprox.
- Trayectoria boquilla: 25°

► = *Descripciones detalladas de funciones avanzadas en la página 20*



I-40 Agua Reciclada

Disponible como opción instalada de fábrica en todos los modelos



I-40 Alta Velocidad

Disponible como opción instalada de fábrica en todos los modelos

I-40 - ESPECIFICACIONES: ORDEN 1 + 2 + 3 + 4

1 Modelo	2 Características estándar	3 Características opcionales	4 Boquillas opcionales
I-40-04-SS = Emergencia de 10 cm I-40-06-SS = Emergencia de 15 cm	Sector ajustable, vástago de acero inoxidable, válvula antidrenaje, y 6 boquillas	B = Conexión roscada BSP R = Identificador de agua reciclada HS = Alta velocidad HS-R = Alta velocidad e identificador de agua reciclada	de #8 a #25 = Número de boquilla instalado de fábrica

I-40-ON - ESPECIFICACIONES: ORDEN 1 + 2 + 3 + 4

1 Modelo	2 Características estándar	3 Características opcionales	4 Boquillas opcionales
I-40-04-SS-ON = Emergencia de 10 cm I-40-06-SS-ON = Emergencia de 15 cm	Círculo completo, boquilla opuesta, vástago de acero inoxidable, válvula antidrenaje, y 6 boquillas	B = Conexión roscada BSP R = Identificador de agua reciclada ON = Boquillas opuestas de círculo completo ON-R = Boquillas opuestas de círculo completo e identificación de agua reciclada	de #15 a #28 = Número de boquilla instalado de fábrica

Ejemplos:

I-40-04-SS - B = Emergencia de 10 cm, sector ajustable, conexión roscada BSP

I-40-04-SS - ON-R - B - 23 = Emergencia de 10 cm, sector ajustable, boquillas opuestas de círculo completo, identificación de agua reciclada, conexión roscada BSP y boquilla de 23

I-40-06-SS - 15 - B = Emergencia de 15 cm, sector ajustable, conexión roscada BSP y boquilla de 15

DATOS DE RENDIMIENTO DE LAS BOQUILLAS I-40

Boquilla	Presión		Radio	Caudal		Pluv mm/h	
	bar	kPa		m ³ /h	l/min	■	▲
8 (40) Marrón Claro	2,5	250	13,1	1,63	27,2	19	22
	3,0	300	13,4	1,80	30,0	20	23
	3,5	350	13,7	1,94	32,3	21	24
	4,0	400	14,0	2,06	34,4	21	24
	4,5	450	14,0	2,18	36,3	22	26
	5,0	500	14,3	2,29	38,2	22	26
10 (41) Verde Claro	5,5	550	14,6	2,41	40,2	23	26
	3,0	300	14,6	2,20	36,6	21	24
	3,5	350	14,9	2,37	39,4	21	24
	4,0	400	15,2	2,52	42,0	22	25
	4,5	450	15,5	2,67	44,5	22	25
	5,0	500	15,5	2,81	46,8	23	27
13 (42) Azul Claro	5,5	550	15,8	2,96	49,3	24	27
	6,0	600	16,2	3,08	51,4	24	27
	3,0	300	14,9	2,36	39,4	21	24
	3,5	350	15,2	2,55	42,6	22	25
	4,0	400	15,5	2,73	45,5	23	26
	4,5	450	15,5	2,90	48,3	24	28
15 (43) Gris	5,0	500	15,8	3,06	51,0	24	28
	5,5	550	16,2	3,23	53,9	25	29
	6,0	600	16,5	3,38	56,3	25	29
	3,0	300	16,2	2,93	48,8	22	26
	3,5	350	16,5	3,19	53,2	24	27
	4,0	400	16,8	3,44	57,3	24	28
23 (44) Verde osc.	4,5	450	17,1	3,67	61,2	25	29
	5,0	500	17,4	3,89	64,9	26	30
	5,5	550	18,0	4,14	68,9	26	30
	6,0	600	18,3	4,34	72,4	26	30
	6,2	620	18,3	4,43	73,8	26	31
	3,5	350	18,6	4,48	74,6	26	30
25 (45) Azul osc.	4,0	400	18,9	4,76	79,4	27	31
	4,5	450	19,2	5,03	83,9	27	32
	5,0	500	19,5	5,29	88,1	28	32
	5,5	550	19,8	5,56	92,7	28	33
	6,0	600	20,1	5,79	96,5	29	33
	6,2	620	20,1	5,89	98,1	29	34

DATOS DE RENDIMIENTO DE LAS BOQUILLAS DE ALTA VELOCIDAD I-40

Boquilla	Presión		Radio	Caudal		Pluv mm/h	
	bar	kPa		m ³ /h	l/min	■	▲
8 (40) Marrón Claro	2,5	250	12,2	1,63	27,2	22	25
	3,0	300	12,5	1,80	30,0	23	27
	3,5	350	12,8	1,94	32,3	24	27
	4,0	400	12,8	2,06	34,4	25	29
	4,5	450	13,1	2,18	36,3	25	29
	5,0	500	13,4	2,29	38,2	25	29
10 (41) Verde Claro	5,5	550	13,4	2,41	40,2	27	31
	3,0	300	13,4	2,20	36,6	34	28
	3,5	350	13,7	2,37	39,4	25	29
	4,0	400	14,0	2,52	42,0	26	30
	4,5	450	14,0	2,67	44,5	27	31
	5,0	500	14,3	2,81	46,8	27	32
13 (42) Azul Claro	5,5	550	14,6	2,96	49,3	28	32
	6,0	600	14,6	3,08	51,4	29	33
	3,0	300	13,7	2,36	39,4	25	29
	3,5	350	14,0	2,55	42,6	26	30
	4,0	400	14,3	2,73	45,5	27	31
	4,5	450	14,3	2,90	48,3	28	33
15 (43) Gris	5,0	500	14,6	3,06	51,0	29	33
	5,5	550	14,9	3,23	53,9	29	33
	6,0	600	14,9	3,38	56,3	30	35
	3,0	300	15,2	2,93	48,8	25	29
	3,5	350	15,5	3,19	53,2	26	30
	4,0	400	15,8	3,44	57,3	27	32
23 (44) Verde osc.	4,5	450	15,8	3,67	61,2	29	34
	5,0	500	16,2	3,89	64,9	30	34
	5,5	550	16,5	4,14	68,9	31	35
	6,0	600	16,5	4,34	72,4	32	39
	6,2	620	16,5	4,43	73,8	33	38
	3,5	350	16,8	4,48	74,6	32	37
25 (45) Azul osc.	4,0	400	17,4	4,76	79,4	32	36
	4,5	450	17,7	5,03	83,9	32	37
	5,0	500	17,7	5,29	88,1	34	39
	5,5	550	18,0	5,56	92,7	34	40
	6,0	600	18,3	5,79	96,5	35	40
	6,2	620	18,6	5,89	98,1	34	39

Nota:

Todas las pluviometrías están calculadas en un arco de 180°.
Para la pluviometría de un aspersor de 360°, dividir entre 2.

BOQUILLAS I-40



Estándar / Alta
velocidad



DATOS DE RENDIMIENTO DE LA BOQUILLAS OPUESTA DUAL I-40

Boquilla	Presión		Radio	Caudal		Pluv mm/h	
	bar	kPa		m³/h	l/min	■	▲
15 ● Gris	3,0	300	15,2	2,75	45,8	12	14
	3,5	350	15,8	2,91	48,5	12	13
	4,0	400	16,2	3,06	51,0	12	14
	4,5	450	16,8	3,20	53,3	11	13
	5,0	500	17,1	3,32	55,4	11	13
	5,5	550	17,4	3,46	57,7	11	13
	6,0	600	17,7	3,58	59,6	11	13
	6,2	620	17,7	3,62	60,4	12	13
18 ● Rojo	3,0	300	17,4	2,90	48,3	10	11
	3,5	350	17,7	3,15	52,5	10	12
	4,0	400	18,0	3,38	56,4	10	12
	4,5	450	18,0	3,61	60,1	11	13
	5,0	500	18,3	3,82	63,7	11	13
	5,5	550	18,9	4,05	67,5	11	13
	6,0	600	19,2	4,25	70,8	12	13
	6,2	620	19,2	4,33	72,1	12	14
20 ● Marrón osc.	3,5	350	18,3	3,98	66,2	12	14
	4,0	400	18,9	4,26	71,1	12	14
	4,5	450	19,2	4,54	75,6	12	14
	5,0	500	19,5	4,80	80,0	13	15
	5,5	550	20,1	5,08	84,7	13	15
	6,0	600	19,8	5,32	88,7	14	16
	6,2	620	19,8	5,42	90,4	14	16
	6,5	650	20,1	5,55	92,5	14	16
23 ● Verde osc.	3,5	350	18,9	4,23	70,6	12	14
	4,0	400	19,5	4,55	75,8	12	14
	4,5	450	19,8	4,85	80,8	12	14
	5,0	500	20,1	5,14	85,6	13	15
	5,5	550	20,4	5,45	90,8	13	15
	6,0	600	20,7	5,71	95,1	13	15
	6,2	620	20,7	5,82	97,0	14	16
	6,5	650	20,7	5,96	99,4	14	16
25 ● Azul osc.	3,5	350	19,5	4,60	76,7	12	14
	4,0	400	20,1	4,92	82,1	12	14
	4,5	450	20,4	5,23	87,2	13	14
	5,0	500	20,7	5,52	92,0	13	15
	5,5	550	21,0	5,84	97,3	13	15
	6,0	600	21,3	6,10	101,7	13	15
	6,2	620	21,3	6,22	103,6	14	16
	6,5	650	21,3	6,36	106,0	14	16
28 ● Negro	3,5	350	19,8	5,73	95,5	15	17
	4,0	400	20,4	6,07	101,1	15	17
	4,5	450	21,0	6,38	106,4	14	17
	5,0	500	21,3	6,68	111,3	15	17
	5,5	550	21,9	7,00	116,7	15	17
	6,0	600	22,3	7,27	121,1	15	17
	6,2	620	22,3	7,38	122,9	15	17
	6,5	650	22,6	7,52	125,3	15	17
	6,9	690	23,2	7,73	128,8	14	17

Nota:

La pluviometría para el modelo de boquillas opuestas -ON- están calculadas para 360°.

BOQUILLAS I-40

Opuesta Dual

Frontal

Trasera

**I-40 con opción de kit de tapón de hierba**

Disponible como opción instalada sobre el terreno en todos los modelos

Modelo 360° Boquillas Opuestas

Anexo 9: Manual de operación y mantenimiento

a) Recomendaciones y advertencias

“La mayoría de los accidentes pueden ser evitados usando el sentido común”

Bomba

- Leer el manual del fabricante antes de operar la bomba
- Sólo personal calificado deberá instalar, operar o reparar la bomba
- Mantener la distancia respecto a la succión y descarga. No meta los dedos en la bomba cuando esta esté conecta
- No bloquee ni restrinja la descarga
- La bomba durante su operación acumula calor y presión, permita un tiempo de reposo antes de volver a manejarla
- Asegure la posición de la bomba. Esta no debe resbalar, ladear o caer en su operación [49]
- No exceda las recomendaciones del fabricante respecto al rendimiento máximo de la bomba

Sistema eléctrico

- Toda instalación eléctrica de la bomba deberá ser realizada por un electricista calificado
- Para reducir el riesgo de una descarga eléctrica, en un principio la bomba deberá estar debidamente conectada a tierra
- No opere la bomba si el aislamiento de los cables están desgastados
- Los circuitos de arranque y parada de la bomba deberán ser aislados de la humedad ambiente
- No permita que los cables entren en contacto con el agua
- No maneje ningún cable con las manos mojadas
- Desconecte la bomba antes de darle mantenimiento [49]

Ubicación de equipo de bombeo

- La bomba deberá ubicarse lo más cercano posible al líquido a bombear
- Utilizar la mínima cantidad de accesorios con la finalidad de reducir la fricción en la succión
- La tubería de succión y descarga deberán de estar alineadas con la voluta en la bomba
- En anclaje del motor deberá estar sujeto sobre una superficie elevada al menos 10 cm para evitar que el agua acumulada entre al motor [49]

Estación de bombeo

- La habitación en donde se instalará el equipo de bombeo debe mantenerse limpia y aislada del entorno
- Utilizar pintura epóxica para el suelo y paredes de la habitación
- Garantizar que la habitación disponga de ventilación (de preferencia ventilación natural), misma que deberá ser aplicada al operar la bomba

Aspersores

- Regar un solo ramal a la vez
- No obstaculizar ni restringir el área de salida de los aspersores
- Verificar la presión de trabajo en los instrumentos del equipo de bombeo
- No realizar cortes de césped inferiores a una altura de 2.5 cm
- No exceder los parámetros hidráulicos de diseño (presión y caudal), al momento de la irrigación
- Realizar la limpieza de los aspersores de acuerdo a las especificaciones del fabricante [46] [48]

b) Operación

¡Siga estas instrucciones para evitar problemas de funcionamiento potenciales!

Cebado

Toda bomba centrífuga deberá estar cebada antes de ponerse en operación, (la tubería de succión y el cuerpo de la bomba deben estar llenos del líquido a bombear). ¡No opere la bomba si no ha sido cebada! [49].

Rotación

La rotación es indicada por la flecha en el cuerpo de la bomba. Aplique voltaje momentáneamente y verifique que el sentido de la rotación sea el correcto, (este proceso se realiza únicamente en el primer arranque de la bomba). No permita que la bomba opere en sentido contrario al señalado por el fabricante [49].

Arranque

- La primera puesta en marcha del equipo se debe realizar con la válvula de descarga cerrada al 90%, luego abrir gradualmente la válvula hasta que el motor trabaje a plena carga
- Nunca permita que el amperaje consumido por la bomba exceda el máximo permitido por el motor
- No debe permitirse que la bomba opere con la válvula de descarga cerrada durante más de un tiempo mínimo de puesta en marcha [49]

Sello mecánico

Los sellos mecánicos instalados en las bombas son lubricados con agua, esto quiere decir que, la bomba no deberá ser operada en seco [49].

Acople intermedio

Verificar y mantener un perfecto alineamiento bomba – motor en todo momento de operación. Todas las bombas son fabricadas cumpliendo esta condición, lo que garantiza una operación sin problemas [49].

Tanque hidroneumático

Establecer la presión requerida de trabajo por medio de los instrumentos una vez que la bomba haya sido puesta en marcha.

Ramales

Los ramales se regarán uno solo a la vez, en el primer riego mantener de preferencia el siguiente orden:

Tabla 9.1. Secuencia de riego

Orden	Ramal	Tiempo de riego
Primero	5	15 min
Segundo	4	10 min
Tercero	3	10 min
Cuarto	2	10 min
Quinto	1	15 min

Fuente: Joao Sebastian Salas Quelal

Sólo la válvula del ramal que se encuentra regando debe permanecer totalmente abierta, mientras que las demás válvulas se deben mantener totalmente cerradas. Al cumplirse el tiempo de irrigación del ramal que se encuentre operando, abrir inmediatamente la válvula del siguiente ramal de acuerdo a la secuencia establecida y cerrar la válvula del ramal que ya cumplió su función.

Parada de la bomba

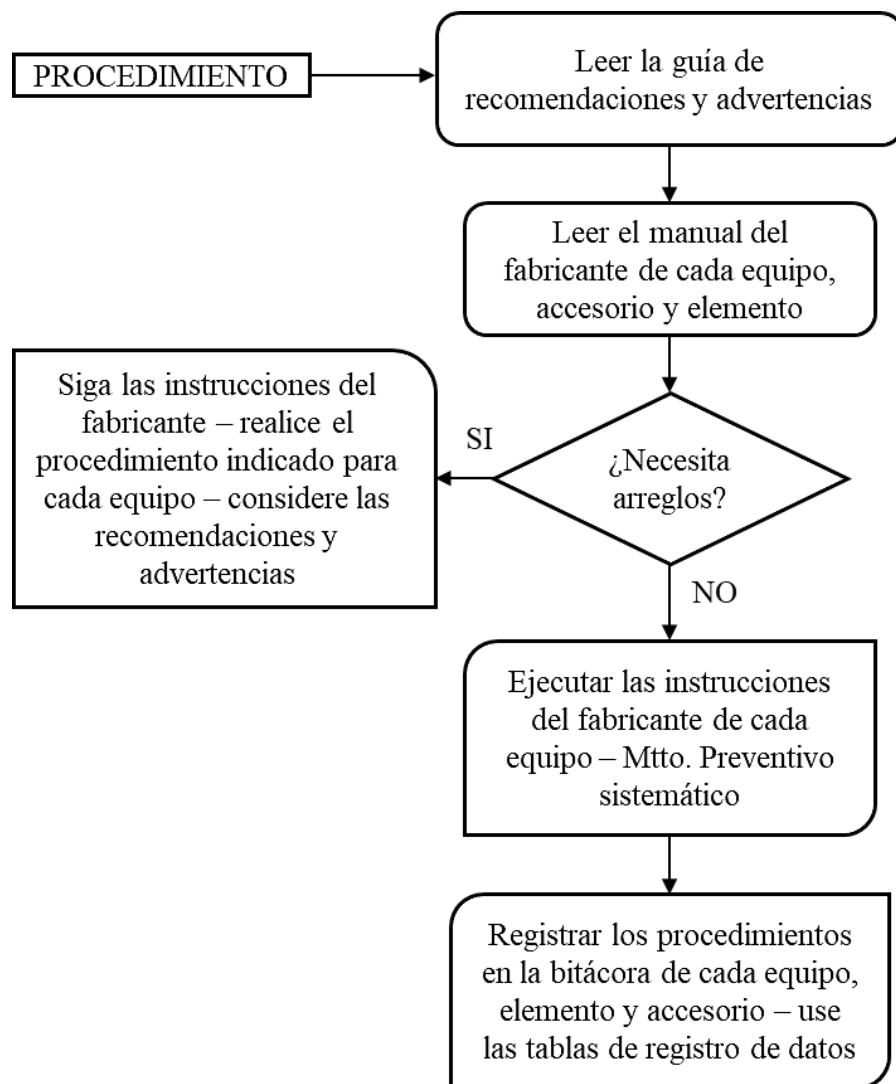
- Cierre la válvula de descarga para proteger la bomba del flujo en reversa y de la contra presión excesiva
- La bomba debe detenerse tan pronto como se cierre la válvula de descarga.
- Apague la bomba
- Cierre la válvula de succión si la bomba va a permanecer apagada durante un periodo de tiempo considerable [49]

c) Programación de mantenimiento

“Confiabilidad: Aptitud de un sistema de cumplir la función para la cual fue diseñado, sujeto a condiciones dadas, durante un intervalo de tiempo determinado [50]”

Procedimiento de mantenimiento preventivo

- **Objetivo:** Mantener y conservar en óptimas condiciones funcionales el sistema de riego estacionario por aspersión.
- **Justificación:** Proporcionar confiabilidad permanente y garantizar el óptimo funcionamiento del sistema.



Fuente: Joao Sebastian Salas Quelal

Tabla 9.2. Manual de mantenimiento preventivo [49]

Elemento	Procedimiento	Frecuencia
Cuerpo de la bomba	<ul style="list-style-type: none"> - Remueva las tuercas y tornillos - Desconecte la tubería de succión y descarga - Retire el cuerpo del acoplamiento intermedio 	Semestral
Impulsor	<ul style="list-style-type: none"> - Remueva las tuercas del cuerpo - Examine y remplace si existe desgaste o deterioro 	Trimestral
Conjunto sello mecánico	<ul style="list-style-type: none"> - Retire el cuerpo y el impulsor - Examine la existencia de desgaste o deterioro - Remueva el asiento estacionario y la porción rotatoria 	Semestral
Acople intermedio	<ul style="list-style-type: none"> - Afloje los tornillos opresores - Alinee las flechas y apriete los tornillos opresores - Lubricación 	Semestral
Cojinetes	- Lubricación	Semestral
Filtro de succión	<ul style="list-style-type: none"> - Verifique la diferencia de presión entre los manómetros - Si existe caída de presión considerable realice limpieza del filtro 	Cada operación
Empaques	<ul style="list-style-type: none"> - Examine la existencia de fugas - Si existe gran pérdida por fugas cambie de empaque 	Cada operación
Válvulas de bola (ramales)	- Ajuste	Semestral
Tanque hidroneumático	- Revisar indicadores de presión	Cada operación
Aspersores Hunter	- Limpieza	Cada 2 operaciones
Instrumentos	- Calibración	Semestral

Tabla 9.3. Registro de datos de equipo – Mantenimiento preventivo

DATOS DEL EQUIPO		CONTROL DE CAMBIOS			
No. de máquina		No. de cambio	Fecha del cambio	Razón del cambio	Cambio
Nombre de máquina					
Sistema de soporte					
Marca					
Modelo					
No. de serie					
Placa					
Inicio de operación					
Capacidad					
Localización					
Fecha de elaboración					
Responsable					
Defectos					
Disponibilidad					
Observaciones:	Observaciones:				

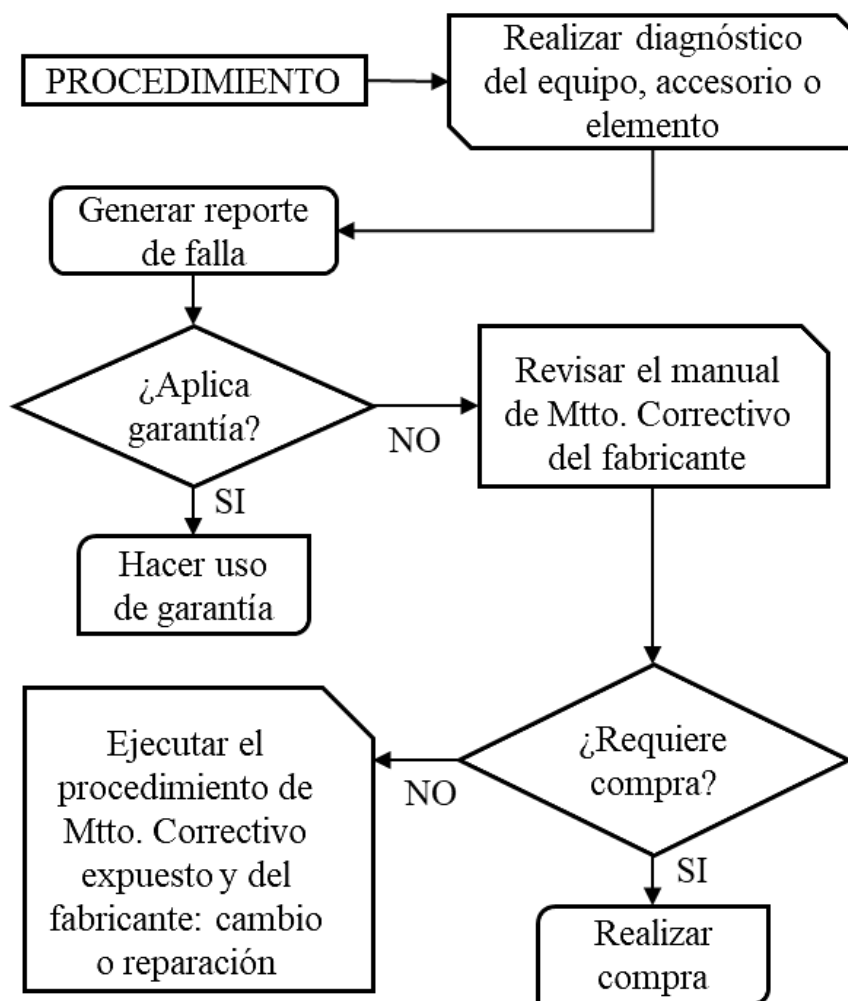
Tabla 9.4. Registro de datos de elemento/accesorio – Mantenimiento preventivo

DATOS DEL ELEMENTO/ACCESORIO		CONTROL DE CAMBIOS			
No. de elemento		No. de cambio	Fecha del cambio	Razón del cambio	Cambio
Nombre de elemento					
Cantidad					
Marca					
Modelo					
No. de serie					
Instalación					
Inicio de operación					
Capacidad					
Localización					
Fecha de elaboración					
Responsable					
Defectos					
Disponibilidad					
Observaciones:		Observaciones:			

Procedimiento de mantenimiento correctivo

¡IMPORTANTE, desconecte la bomba antes de aplicar mantenimiento o reparación!

- **Objetivo:** Reparar fallos o defectos que se presenten en los equipos, elementos y accesorios del sistema de riego estacionario por aspersión.
- **Justificación:** Solucionar problemas o averías en el sistema, y diagnosticar las posibles causas que originan estas alteraciones no programadas.



Fuente: Joao Sebastian Salas Quelal

Tabla 9.5. Manual de mantenimiento correctivo [49]

Elemento	Procedimiento	Frecuencia
Cuerpo de la bomba	<ul style="list-style-type: none"> - Examine la existencia de desgaste o deterioro - De existir daños realice el procedimiento correctivo 	Inmediato de la falla
Impulsor	<ul style="list-style-type: none"> - Remueva el tornillo de la flecha - Proteja el cuñero de la flecha - Haciendo uso de un extractor remueva el impulsor 	Inmediato de la falla
Conjunto sello mecánico	<ul style="list-style-type: none"> - Retire el cuerpo y el impulsor y la protección rotatoria - Remueva el acoplamiento intermedio y el asiento estacionario - Retire el sello averiado - Instale los elementos removidos - Lubrique el acoplamiento intermedio con aceite SAE 90 	Inmediato de la falla
Acople intermedio	<ul style="list-style-type: none"> - Separe las cubiertas de los acoples y retirar la rejilla - Retire tornillos, tuercas y opresores si es necesario - Instale el nuevo acople intermedio - Selle el equipo 	Inmediato de la falla
Cojinetes	<ul style="list-style-type: none"> - Retire el cuerpo de la bomba y cambie de cojinetes 	Inmediato de la falla
Filtro de succión	<ul style="list-style-type: none"> - Extraiga el filtro de la válvula de pie e instale un nuevo filtro 	Inmediato de la falla
Empaques	<ul style="list-style-type: none"> - Examine la existencia de fugas - Si existe gran perdida por fugas cambie de empaque 	Inmediato de la falla
Válvulas de bola (ramales)	<ul style="list-style-type: none"> - Retire el acoplamiento roscado - Instale una nueva válvula 	Inmediato de la falla
Tanque hidroneumático	<ul style="list-style-type: none"> - Cambie la membrana fija del tanque 	Inmediato de la falla

Tabla 9.6. Registro de datos de equipo – Mantenimiento correctivo

DATOS DEL EQUIPO		CONTROL DE CAMBIOS			
No. de máquina		No. de cambio	Fecha del cambio	Razón del cambio	Cambio
Nombre de máquina					
Sistema de soporte					
Marca					
Modelo					
No. de serie					
Placa					
Inicio de operación					
Capacidad					
Localización					
Fecha de elaboración					
Responsable					
Defectos					
Disponibilidad					
Observaciones:	Observaciones:				

Tabla 9.7. Registro de datos de elemento/accesorio – Mantenimiento correctivo

DATOS DEL ELEMENTO/ACCESORIO		CONTROL DE CAMBIOS			
No. de elemento		No. de cambio	Fecha del cambio	Razón del cambio	Cambio
Nombre de elemento					
Cantidad					
Marca					
Modelo					
No. de serie					
Instalación					
Inicio de operación					
Capacidad					
Localización					
Fecha de elaboración					
Responsable					
Defectos					
Disponibilidad					
Observaciones:	Observaciones:				

Anexo 10: Recomendaciones para el cuidado y mantenimiento del Kikuyo

Siga las siguientes recomendaciones para mantener en buenas condiciones de salud y estética al césped Kikuyo.

a) Riego

El riego es la actividad agrícola más importante desarrollada con el objetivo de proveer la cantidad adecuada de agua para el correcto desarrollo de los cultivos [9]. Conocida la importancia del riego, se presenta a continuación un listado de instrucciones para realizar la correcta aplicación del riego al césped Kikuyo.

Frecuencia

- **Verano:** La estación de verano presenta las condiciones meteorológicas más críticas: ausencia de lluvia, altas temperaturas, humedad relativa del aire baja, alta velocidad de flujo de viento, heladas, entre otros [8] [24]. De acuerdo con el horario recomendado para el cuidado y mantenimiento del césped, aplicar el riego al Kikuyo los siguientes días:

Tabla 10.1. Horario recomendado para regar el Kikuyo

Lunes	Miércoles	Viernes
06H00 – 07H00	06H00 – 07H00	06H00 – 07H00
07H00 – 08H00	07H00 – 08H00	07H00 – 08H00
08H00 – 09H00	08H00 – 09H00	08H00 – 09H00
09H00 – 10H00	09H00 – 10H00	09H00 – 10H00
¡No regar en este intervalo del día!		
18H00 – 19H00	18H00 – 19H00	18H00 – 19H00
19H00 – 20H00	19H00 – 20H00	19H00 – 20H00
20H00 – 21H00	20H00 – 21H00	20H00 – 21H00
21H00 – 22H00	21H00 – 22H00	21H00 – 22H00
22H00 – 23H00	22H00 – 23H00	22H00 – 23H00
23H00 – 00H00	23H00 – 00H00	23H00 – 00H00

Fuente: Joao Sebastian Salas Quelal

Cabe recalcar que el diseño hídrico del sistema establece sólo 1 h de riego por cada día del horario indicado, cualquiera sea la hora de riego elegida está a consideración del operador o de su superior de acuerdo a la planificación del uso del estadio.

Este horario excluye una programación de riego en el fin de semana, la razón, la mayor utilidad del estadio está dispuesto para el fin de semana. De existir un fin de semana de máxima exigencia en el estadio, aplicar el 50% de la dosis de riego determinada, es decir, media hora de irrigación (cualquier hora del día).

- **Invierno:** Las condiciones de esta estación climática proveen de forma natural el agua necesaria para el desarrollo del césped, por lo tanto, la irrigación por medio del sistema de riego estacionario está en función de la experiencia agrícola.

¿Cómo saber cuándo necesita el césped la aplicación de riego en invierno?

El principal indicador que provee la información al operador del cuándo regar el césped en invierno, es su color verde brillante. La siguiente figura muestra la óptima estética y buena salud del Kikuyo del Estadio Rafael Cabrera en la estación de invierno:



Figura 10.1. Kikuyo en óptimas condiciones

Fuente: Joao Sebastian Salas Quelal

Se puede apreciar en la Figura 10.1 el color verde característico del Kikuyo en óptimas condiciones, por lo tanto, mantener este color en cualquier estación que se encuentre es el resultado de una correcta hidratación al suelo y cultivo. El Kikuyo

no demanda de fertilización orgánica o química, es una característica fisiológica favorable de esta especie, de esta forma, su cuidado y mantenimiento dependerá principalmente del riego.



Figura 10.2. Kikuyo con insuficiente hidratación

Fuente: Joao Sebastian Salas Quelal

En la Figura 10.2 se muestra el aspecto que adquiere el color del Kikuyo cuando no se le ha dotado de la cantidad necesaria de agua. Es muy evidente la diferencia estética que presenta el Kikuyo ante esta variable. Por consiguiente, la aplicación del riego en invierno se la realizará en función de este indicador y cuando se requiera el uso del sistema de riego estacionario para aplicaciones colaterales (fertilización disuelta o aplicación de pesticidas).

b) Corte

El corte no debe ser inferior a una altura de hoja de 2.5 cm, esta altura garantiza la pronta recuperación, crecimiento y buena estética del césped Kikuyo. Asimismo, la altura de hoja no debe exceder los 8 cm, ya que contribuye al crecimiento de malezas y provoca la presencia de insectos [24].

c) Aireado

El aireado consiste en "aguijonear" la tierra con numerosos agujeros pequeños. Su finalidad es oxigenar el suelo en profundidad. Realizar una vez a la semana el aireado del suelo [51].

Anexo 11: Información de proveedores

- Hidromercado EVANS



The business card for Hidromercado EVANS features the EVANS logo in an orange oval at the top left and the Hidromercado logo with the tagline "el agua es nuestro elemento" below it. The title "Jefe de Operaciones" is prominently displayed in a bold, italicized font. Contact information is listed on the right side, preceded by small circular icons for phone, email, website, and location.

EVANS

Hidromercado
el agua es nuestro elemento

Jefe de Operaciones

2475735 / 2479 225 / 2472987
0988 214 536
www.hidromercado.com.ec
operaciones@hidromercado.com.ec
Panamericana Norte Km. 4
11772 y Av. 6 de Diciembre

- TECNO – RIEGOS



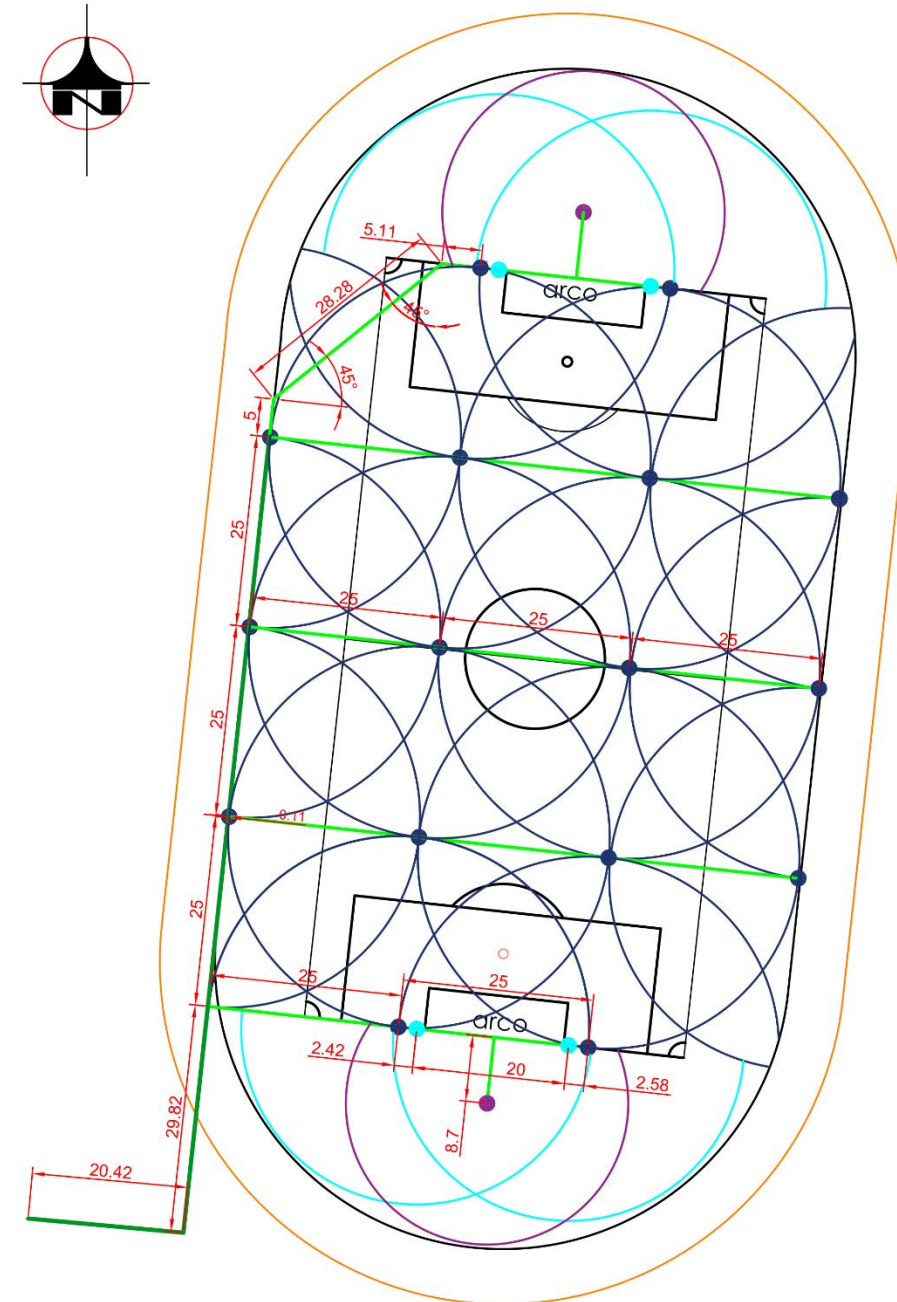
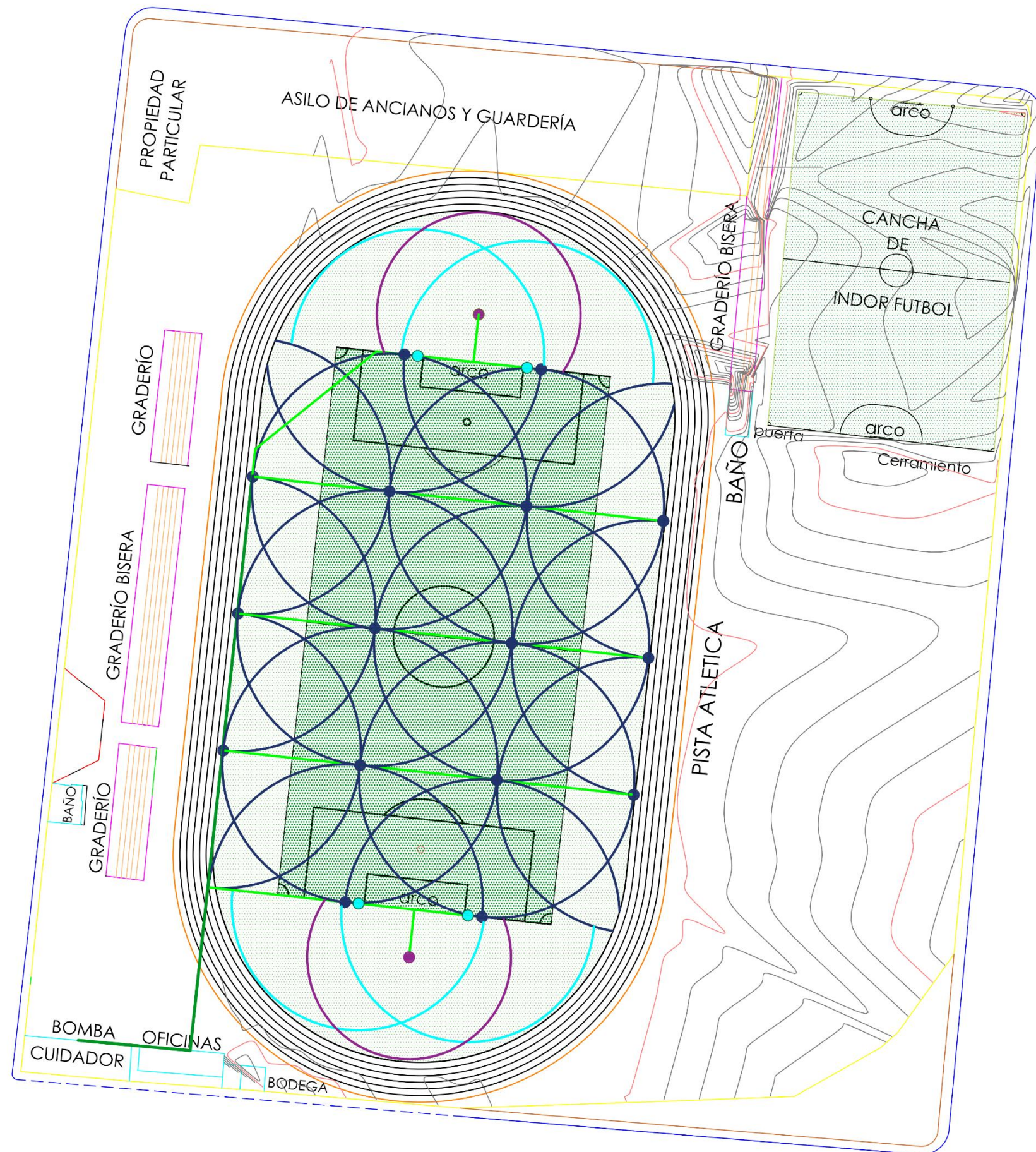
The business card for TECNO-RIEGOS has a blue background with a water droplet graphic on the left and a water splash graphic on the right. It includes two logos: a circular one with a 'T' and a water droplet one. The company name "TECNO-RIEGOS" and tagline "TECNOLOGÍA PARA RIEGOS" are in bold. The name and title of the technical advisor are centered. Contact details are at the bottom.

TECNO-RIEGOS
TECNOLOGÍA PARA RIEGOS

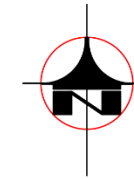
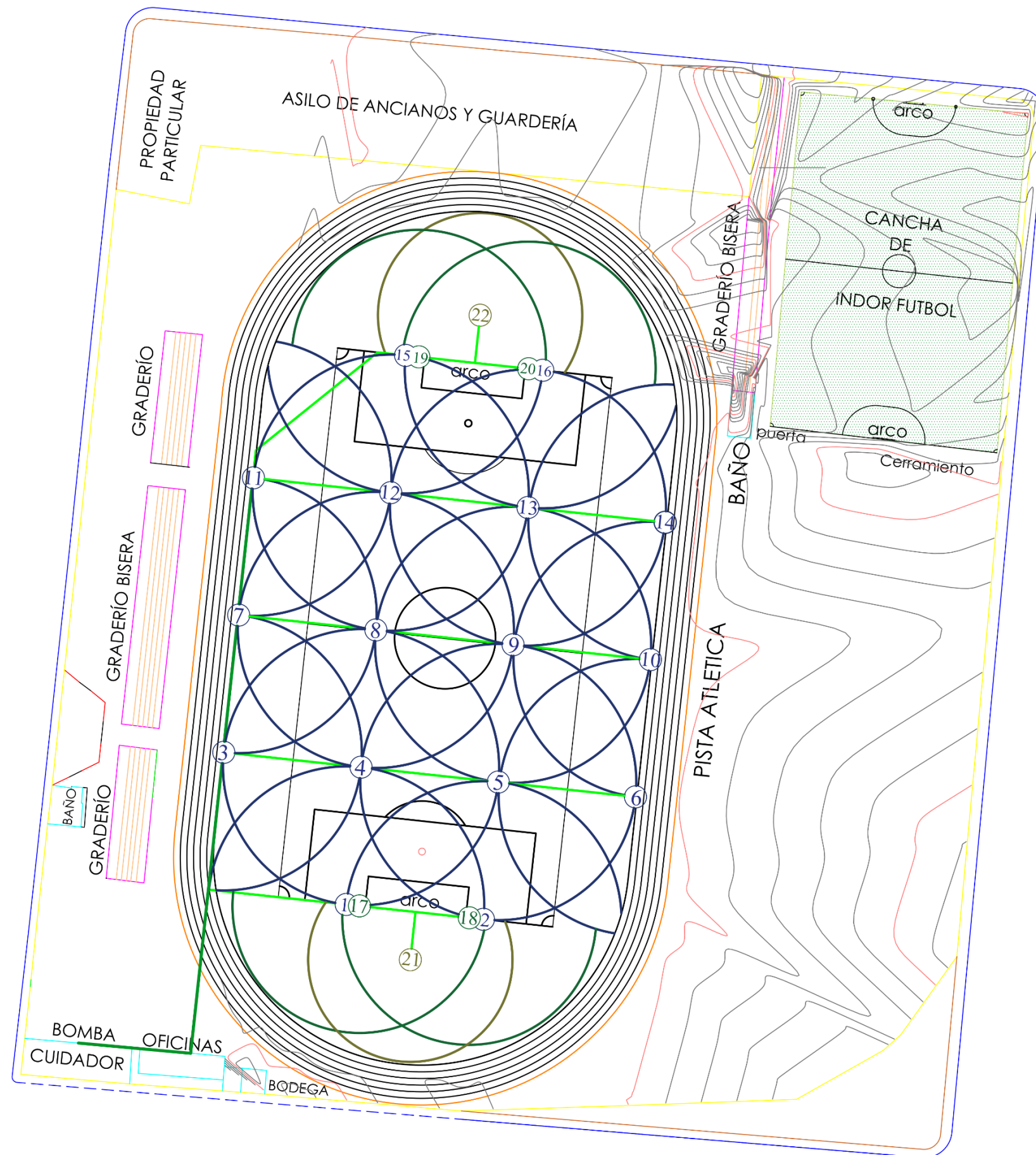
Miguel Angel Carlosama
ASESOR TÉCNICO






Dir.: Av. Cristobal de Troya 11-72
y Jorge Dávila Mesa (Frente a Ferro Eléctrico)
Telf.: (06) 2610 887 / Cel.: 0986161 637 - 0997 629 247
Email: mi_33_ky333@hotmail.com
Ibarra - Ecuador

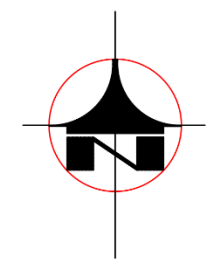
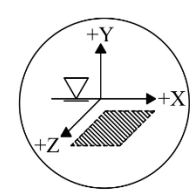
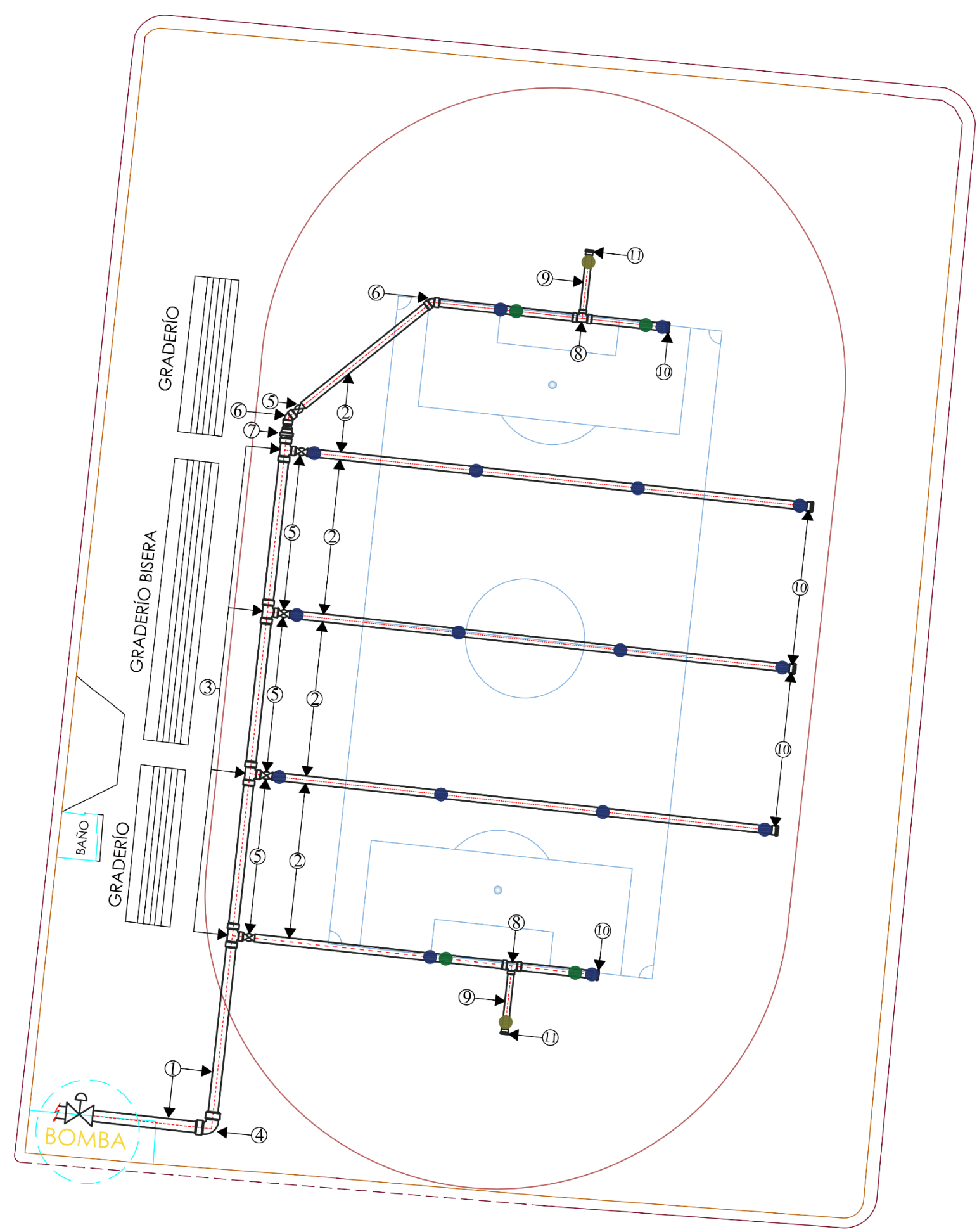
PLANOS


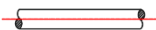






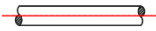







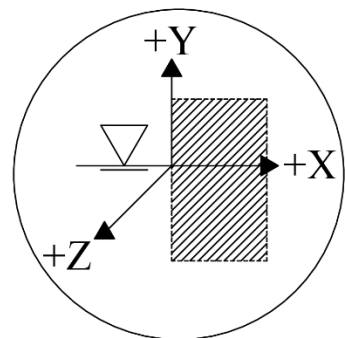
SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN	SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN
	Línea principal		Radio mojado: 23m
	Ramales		Rad. mojado: 18.5m
	Radio mojado: 25m	Todas las dimensiones están en: m	
Tratamiento térmico	NA	Material:	Dim. brutas:
Recubrimiento	NA	NA	NA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		Diseño	Joao Salas Quelal 15/6/2017
		Dibujó	Joao Salas Quelal 15/6/2017
		Revisó	Ing. Hechavarria M. 15/6/2017
Plano 1: Configuración del sistema - dimensionamiento		Escala:	Tol. gral:
		NA	NA
		Código:	10.0009.01



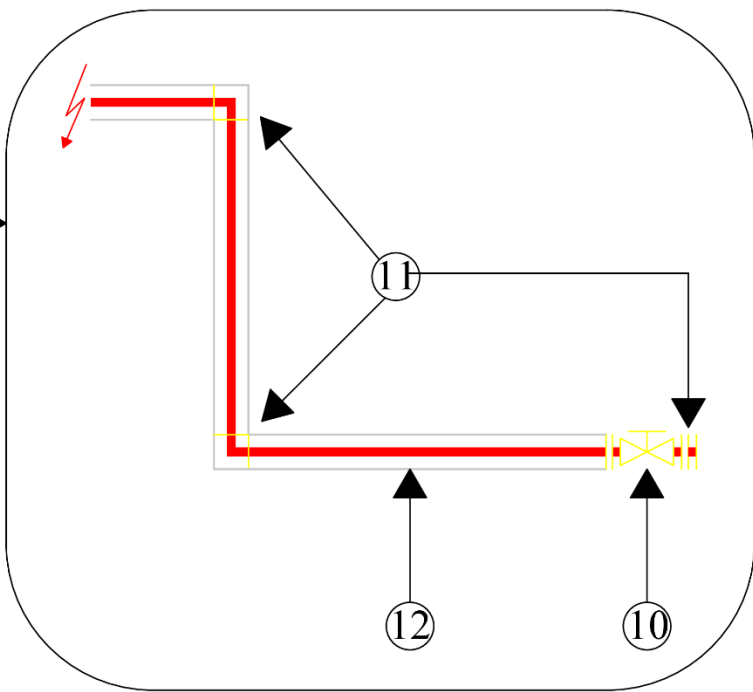
ASPERSOR HUNTER I - 90			ASPERSOR HUNTER I - 40				
							
ID ASPERSOR	Presión	Radio	Caudal		Sector	Pluviometría	
	bar	m	$\frac{m^3}{h}$	$\frac{l}{min}$		 mm/h	 mm/h
ASPERSOR HUNTER I - 90 TOBERA AZUL OSCURO							
1-2-3-6-7-10-11-14 15-16	6.0	25	12.99	216.5	180°	39.6	45.8
4-5-8-9-12-13	6.0	25	12.99	216.5	360°	39.6	45.8
ASPERSOR HUNTER I - 90 TOBERA VERDE OSCURO							
17-18-19-20	5.5	23	11.40	190.0	180°	41.4	47.8
ASPERSOR HUNTER I - 40 TOBERA VERDE OSCURO							
21-22	3.5	18.5	4.48	74.6	180°	26	30
Tratamiento térmico		NA		Material:		Dim. brutas:	
Recubrimiento		NA		NA		NA	
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			UPS	Diseño	Joao Salas Quelal	18/6/2017	
				Dibujó	Joao Salas Quelal	18/6/2017	
				Revisó	Ing. Hechavarría M.	18/6/2017	
Plano 2: Implementación de aspersores al sistema			Escala: NA	Código:	10.0009.02	Tol. gral: NA	



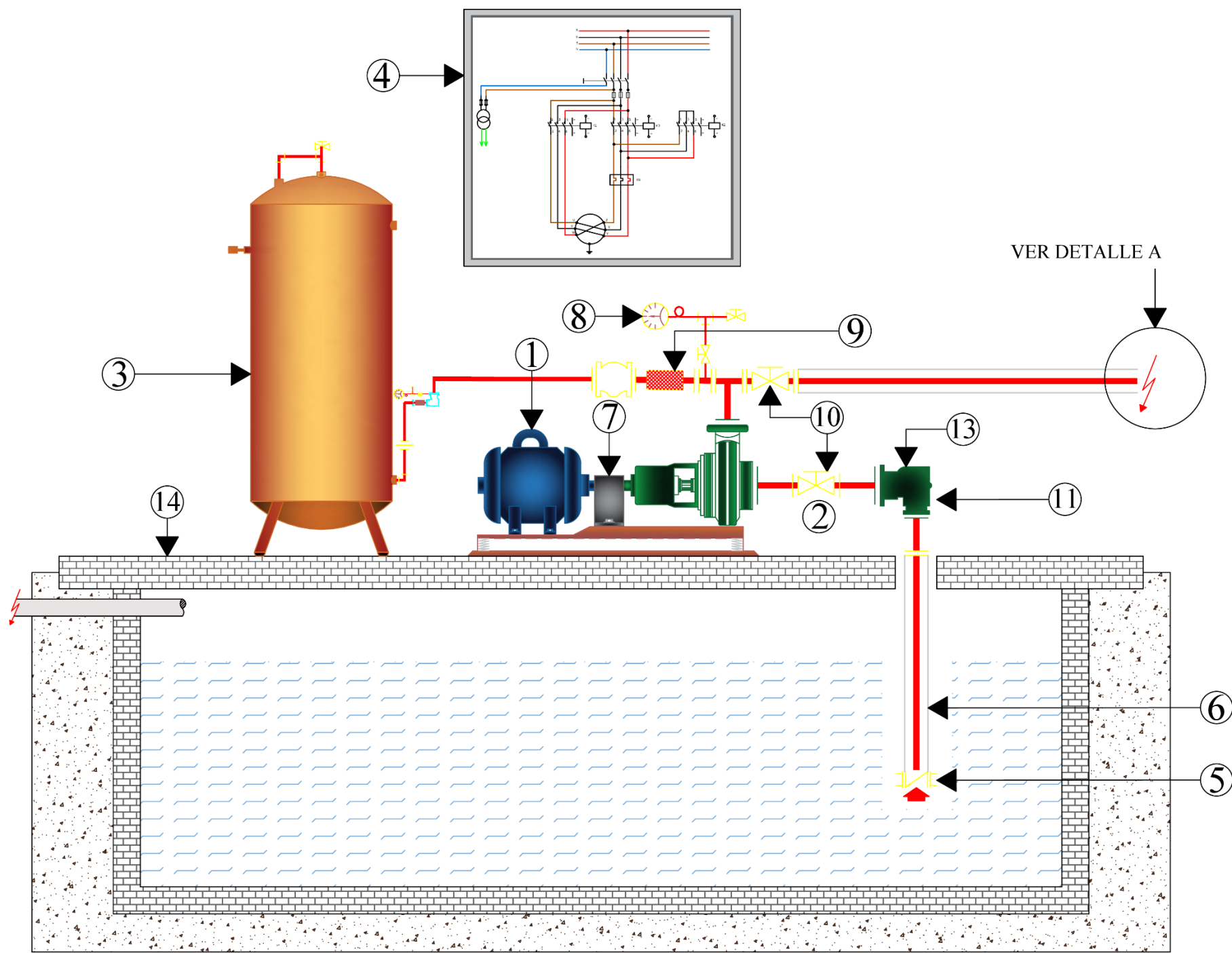
ELEMENTOS Y ACCESORIOS DEL SISTEMA					
SÍMBOLO	ID	Nº	DESCRIPCIÓN		
	1	22	Tubo PVC E/C 2 plg x 1.25 Mpa x 6 m		
	2	56	Tubo PVC E/C 1 ½ plg x 1.25 Mpa x 6 m		
	3	4	TEE Reductora PVC 2 x 1 ½ x 2 plg (pegable)		
	4	1	Codo PVC 2 plg x 90° (pegable)		
	5	5	Válvula de bola PVC 1 ½ plg rosca hembra BSP 1U.		
	6	2	Codo PVC 1 ½ plg x 45° (pegable)		
	7	1	Reductor 2 x 1 ½ plg M-H PVC (pegable)		
	8	2	TEE Reductora PVC 1 ½ x 1 x 1 ½ plg (pegable)		
	9	3	Tubo PVC E/C 1 plg x 1.6 Mpa x 6 m		
	10	4	Tapón 1 ½ plg PVC Hembra (pegable)		
	11	2	Tapón 1 plg PVC Hembra (pegable)		
			16	Conexión 1 ½ pgl BSP Aspersor Hunter I-90	
			4	Conexión 1 pgl BSP Aspersor Hunter I-90	
			2	Conexión 1 pgl BSP Aspersor Hunter I-40	
Tratamiento térmico	NA		Material:		Dim. brutas:
Recubrimiento	NA		NA		NA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		UPS	Diseño	Joao Salas Quelal	08/8/2017
			Dibujó	Joao Salas Quelal	08/8/2017
			Revisó	Ing. Hechavarría M.	08/8/2017
Plano 3: Elementos y accesorios de instalación del sistema		Escala: NA	Código:	10.0009.03	Tol. gral: NA





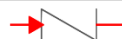











DETALLE A



VER DETALLE A



GRUPO DE BOMBEO					
SÍMBOLO	ID	Nº	DESCRIPCIÓN		
	1	1	Motor eléctrico 15-2 215JM 2/4V-3 TEFC		
	2	1	Bomba centrífuga BARNES KE 3 150		
	3	1	Tanque hidroneumático EVANS 480 Lts		
	4	1	Caja de arranque 15 HP / 220 V - 3F		
	5	1	Válvula de pie 3 plg		
	6	1	Tubo HG Ø plg - 3 m (succión)		
	7	1	Acople Fe		
	8	1	Manómetro de glicerina 0 - 200 psi		
	9	1	Switch de presión 0 - 150 psi		
	10	3	Válvula de compuerta 3 plg		
	11	3	Codo 90° - 3 plg		
	12	1	Tubo HG Ø 3 plg - 2.8 m (descarga)		
	13	1	Válvula de check 3 plg		
	14	1	Cisterna		
Tratamiento térmico	NA		Material:		Dim. brutas:
Recubrimiento	NA		NA		NA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		UPS	Diseño	Joao Salas Quelal	14/8/2017
			Dibujó	Joao Salas Quelal	14/8/2017
			Revisó	Ing. Hechavarria M.	14/8/2017
Plano 4: Diagrama esquemático del grupo de bombeo		Escala: NA	Código:	10.0009.04	Tol. gral: NA